



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

E.A.P. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Aplicación de un ANOVA bifactorial y modelamiento en el tratamiento por floculación de aguas residuales del camal municipal de Andahuaylas

TESINA

Para optar el Título de Ingeniero Industrial

AUTOR

Carlos Alonso Flores Solano

LIMA – PERÚ
2014

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre por formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ayudo a lograr salir adelante en los momentos difíciles para cumplir mis ideales y llegar donde estoy. A mi padre, el cual a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo para que todo salga bien. A mi hermano por ser fuente de inspiración para poder superarme cada día más y lograr poder llegar a ser un ejemplo para él. A mi familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional y por sus palabras de motivación y compañía.

RESUMEN

La presente Tesina tiene como objetivo aplicar un ANOVA bifactorial y modelos matemáticos en el proceso de floculación con mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón de papa de las aguas residuales de las aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas.

Para evaluar la capacidad floculante del mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón de papa de las aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas se realizara el análisis estadístico de las variables de respuesta como el porcentaje de floculación y transmitancia del agua tratada, esto nos permitirá verificar la existencia de diferencias significativas entre medias de los tratamientos y el efecto en las variables de respuesta.

La determinación de los valores adecuados u óptimos de las variables de entrada o independientes en el proceso de floculación, se realizará a través de modelos matemáticos a fin de conocer el efecto de las variables sobre la respuesta, así mismo los modelos matemáticos se probaran utilizando estadígrafos de ajuste, el ajuste de los modelos será desarrollado a través del método de estimación de los mínimos cuadrados, entre los valores experimentales y los valores reportados por el modelo matemático, mientras que la calidad de ajuste de los modelos, se evaluará a través del error medio absoluto.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	iv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.1. PROBLEMA PRINCIPAL	3
1.1.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	6
2.1. GENERAL.....	6
2.2. ESPECÍFICOS	6
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....	7
3.1. ANTECEDENTES	7
3.2. BASES TEÓRICAS.....	9
3.2.1. AGUAS RESIDUALES.....	9
3.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	9
3.2.3. COAGULACIÓN	10
3.2.4. FLOCULACIÓN	11
3.2.5. TURBIEDAD	11
3.2.6. ALMIDÓN	12
3.2.7. TUNA.....	12
3.2.8. PRUEBA DE HIPOTESIS	13
3.2.9. ANOVA	14

3.2.10.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN	21
3.3.	HIPÓTESIS	24
3.3.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	24
3.3.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.....	24
CAPÍTULO 4. DISEÑO METODOLÓGICO		25
4.1.	TIPO DE ESTUDIO.....	25
4.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	26
4.2.1.	POBLACIÓN.....	26
4.2.2.	MUESTRA.....	26
4.3.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
4.3.1.	MÉTODOLOGÍA DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN.....	26
4.3.2.	MÉTODOS DE ANÁLISIS	29
4.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
4.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	32
4.5.1.	ANÁLISIS DE VARIANZA BIFACTORIAL – ANOVA.....	32
4.6.	MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN	35
4.6.1.	GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS	36
4.6.2.	AJUSTE DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS.....	36
CAPÍTULO 5. RESULTADOS		38
5.1.	ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LA TRANSMITANCIA.....	38
5.2.	ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA EL PORCENTAJE DE FLOCULACIÓN	39
5.3.	EFFECTO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO	41
5.4.	EFFECTO DE LA INTERACCIÓN DE LAS VARIABLES	43
5.5.	PRUEBA DE MEDIAS – TEST DE TUKEY.....	46

5.6. REALIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	48
5.7. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA.....	56
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	57
CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Tabla ANOVA para un diseño completamente aleatorizado.....	16
Tabla N°2: Tabla ANOVA para el experimento factorial de dos factores con r replicaciones.....	19
Tabla N°3: Matriz de diseño experimental.....	32
Tabla N°4: Resultados de la Transmitancia para los tratamientos.....	38
Tabla N°5: ANOVA bifactorial para la Transmitancia.....	39
Tabla N°6: Resultados del porcentaje de Floc para los tratamientos.....	40
Tabla N°7: ANOVA bifactorial para el porcentaje de Floc	41
Tabla N°8: Comparación de tratamientos a través del test de Tukey.....	46
Tabla N°9: Modelos matemáticos para la Transmitancia.....	49
Tabla N°10: Modelos matemáticos para el porcentaje de Floc.....	53
Tabla N°11: Valores óptimos de las variables.....	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Metodología de investigación.....	27
Gráfico N°2: Efecto independiente de las variables sobre la Transmitancia.....	42
Gráfico N°3: Efecto independiente de las variables sobre el % de Floc.....	43
Gráfico N°4: Interacción de las variables sobre la Transmitancia.....	44
Gráfico N°5: Interacción de las variables sobre el porcentaje de Floc.....	45
Gráfico N°6: Diagrama de medias de los tratamientos.....	48
Gráfico N°7: Superficie de respuesta para la Transmitancia.....	51
Gráfico N°8: Superficie de contorno para la Transmitancia.....	52
Gráfico N°9: Superficie de respuesta para el porcentaje de Floc.....	54
Gráfico N°10: Superficie de contorno para el porcentaje de Floc.....	55

INTRODUCCIÓN

Históricamente las aguas residuales no han sido un factor intrínseco de la producción y se suponía que el medio ambiente las absorbía y les daba un tratamiento natural, pero el progreso cultural e industrial acabo llevando aquella práctica a situaciones límite.

Las implicaciones de las aguas residuales en el medio ambiente debido a la gran cantidad de impurezas que contienen en su seno producen un efecto nocivo en las corrientes de aguas en la comunidad, a partir de este gran inconveniente de contaminación creciente, surge la necesidad de realizar un tratamiento adecuado de las aguas residuales para el análisis de sus vertidos y su posible reducción, así como del potencial reciclado de aguas después de su depuración. Una depuración suficiente puede significar la reutilización de importantes volúmenes de agua y el correspondiente ahorro en el consumo.

La turbidez y el color son dos características indeseables en las aguas, ambas suelen estar causados por partículas coloidales, que hacen que existan fuerzas de repulsión entre ellas y les impida aglomerarse para sedimentar. La separación de gran parte de las impurezas tiene lugar por sedimentación, sin embargo, debido a que muchas de estas son demasiadas pequeñas para obtener un proceso de eliminación eficiente mediante esta operación, es preciso llevar a cabo la unión de estas partículas en agregados de mayor tamaño y más fácilmente decantables con el fin de obtener una separación satisfactoria por sedimentación, este proceso de formación de agregados recibe el nombre genérico de coagulación, mientras que la floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas.

El presente trabajo realizará la aplicación de tecnología limpia en el tratamiento de aguas residuales de camal Municipal de Andahuaylas a través del uso de la técnica de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales que contienen residuos sólidos.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo y por ende el crecimiento de una urbe, trae consigo el aumento del consumo de alimentos de vital necesidad, entre ellos las fuentes de proteínas como la carne, que en la mayoría de los casos se obtienen de un mercado local.

Actualmente las aguas servidas del Camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas, desembocan en el cauce del río Chumbao, este río es utilizado como fuente de agua de riego para los cultivos tradicionales en toda su vertiente.

En los procesos de tratamiento de aguas residuales existen métodos de alto costo y riesgo de contaminación, como la floculación por metales como el Aluminio, el silicato y el plomo; pero los métodos naturales basados en principios físicos, químicos y biotecnológicos permiten la disminución de sólidos suspendidos sin riesgo de contaminación.

La utilización de materias de origen natural que muestran ciertas características floculantes, como la penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en los procesos de tratamiento de aguas servidas, no muestran riesgo de contaminación posterior por residuos de metales indeseados, no obstante no se conoce con claridad las dosis o cantidades de uso de estas materias floculantes, que permitan disminuir los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

La evaluación de un experimento a través de un ANOVA, permite conocer el comportamiento de variables dentro de un proceso, así como los efectos que estos presentan sobre ciertas características o atributos de las respuestas. Los procesos de floculación no son ajenos al análisis de los datos resultantes durante su experimentación, estos pueden ser ANOVA de un factor, de dos o más, dependiendo del número de variables que se estén manipulando.

Los procesos de floculación pueden ser representados a través de modelos matemáticos, que permiten conocer un comportamiento, por otro lado, estos modelos, nos ayudan a predecir o conocer un evento sin la necesidad de realizar una experimentación.

El presente trabajo, pretende presentar la aplicación de un ANOVA de dos factores y modelos matemáticos en el tratamiento por floculación con penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PROBLEMA PRINCIPAL

¿Es posible aplicar un ANOVA bifactorial y modelos matemáticos en el proceso de floculación con penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas?

1.1.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS

¿Cuál es el efecto de las variables penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en el tratamiento por floculación de aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas?

¿Cómo afecta la interacción de las variables penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en el tratamiento por floculación de aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas?

¿Qué modelos matemáticos permiten modelar el proceso de floculación con penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Entre muchas técnicas tales como la sedimentación, la precipitación, filtración, coagulación, la flotación y la extracción con solventes disponibles hoy en día, la coagulación - floculación es una tecnología fácil que puede ser usada en los procesos “limpios” de tratamiento de aguas residuales, para recuperación de aguas contaminadas con desechos fecales y su posterior descontaminación (Marsilli, 2005).

El tratamiento de aguas residuales por coagulación – floculación es un proceso primario de tratamiento fisicoquímico que incluye los fenómenos de adsorción y absorción de moléculas e iones por diferentes materiales de origen natural, estos materiales se encuentran en gran abundancia en la naturaleza y su utilización no es un proceso costoso (Hernández, 2005).

La importancia de tratamiento de aguas residuales y la utilización de los materiales orgánicos (polímeros naturales) como una alternativa viable para los procesos de coagulación – floculación de aguas residuales se viene usando el mucílago nopal y almidón de papa, mostrando altos índices de aplicación exitosa en la remoción de sólidos en aguas contaminadas.

La cantidad de vertimiento de agua servida procedente del camal Municipal al río Chumbao, según la directora ejecutiva camal Municipal, es de 2,500 m³/año (promedio). Si bien no existe un informe oficial sobre el grado de contaminación al río Chumbao, esta situación se presenta cuando hay mayor demanda por agua y menos cantidad del recurso.

Una alternativa es ver la posibilidad de utilizar productos naturales como sustancias floculantes, por esta razón el presente trabajo se titula APLICACIÓN DE UN ANOVA BIFACTORIAL Y MODELAMIENTO EN EL TRATAMIENTO POR FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE ANDAHUAYLAS.

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Aplicar un ANOVA bifactorial y modelos matemáticos en el proceso de floculación con mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón de papa para determinar el efecto de estas variables y optimizar el proceso de floculación de las aguas residuales de camal Municipal de la Provincia de Andahuaylas.

2.2. ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de las variables Mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en el tratamiento por floculación para determinar las magnitudes de los efectos principales en el proceso de floculación de las aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas.
- Evaluar la interacción de las variables Mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en el tratamiento por floculación para determinar cuáles interacciones son importantes y utilizar estos valores pronosticados para obtener resultados más precisos de las aguas residuales camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas.
- Analizar modelos matemáticos del proceso de floculación con mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón para determinar el comportamiento matemático del proceso de floculación y el porcentaje óptimo en el proceso de floculación de los sólidos de las aguas residuales del camal Municipal de la provincia de Andahuaylas.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Torres et al., (2003). En su trabajo, Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio: Influencia del Medio de Soporte, indica que el proceso de coagulación con almidón genera una alta cohesión de sólidos muy pequeños presentes en aguas contaminadas con la carga contaminante medida como DQO (Demanda Química de Oxígeno) y carácter ácido; SST (Sólidos Suspendidos Totales).

La aplicación de la tecnología de sedimentación a prueba de jarras con tres medios de soporte (cáscara de coco, anillos de guadua y lecho mixto compuesto por residuos de ladrillera y cáscara de coco) mostró que el medio que permitió encontrar las mejores condiciones operacionales y eficiencias de remoción de DQO y SST (70 y 90% respectivamente) fue la cáscara de coco, además de ser muy competitiva en precios y facilidad de acceso comparado con los otros medios evaluados.

Moreno y Rodríguez (2009). En la investigación, análisis de los procedimientos estadísticos aplicados al control de calidad. Analizaron los aspectos más importantes relacionados con las herramientas estadísticas aplicados en el control de calidad, para los productos malos de los productos buenos, a una etapa de control de calidad en el proceso. A través de diagrama de causa-efecto ayuda a pensar sobre todas las causas reales y potenciales de un suceso o problema, un histograma que permite ver alrededor de que valor se agrupan las mediciones (tendencia central) y cuál es la dispersión alrededor de ese valor central, asimismo usando el diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves, por otro lado consideraron que el diagrama de dispersión es de gran

utilidad para la solución de problemas de la calidad en un proceso y producto, ya que nos sirve para comprobar que causas (factores) están influyendo o perturbando la dispersión de una característica de calidad o variable del proceso a controlar.

Lahura (2003). En su trabajo, El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas; presenta y analiza el coeficiente de correlación, una herramienta estadística elemental e importante para el estudio econométrico de relaciones lineales bivariadas que involucran el uso de datos de corte transversal o series de tiempo. En particular, se analiza su relación con las denominadas correlaciones espúreas o sin sentido. Asimismo, se muestran aplicaciones utilizando datos para la economía peruana.

Garcia et al., (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para selección de medias; concluyeron que, para seleccionar a los tratamientos con las mejores medias, los investigadores agrícolas en México utilizan el análisis de varianza y la prueba de Tukey o de Duncan. Estos dos métodos generan comparaciones múltiples de parejas de medias y no es claro si su uso es adecuado para seleccionar medias. El objetivo del trabajo fue determinar la habilidad para seleccionar medias de los procedimientos de Tukey y Duncan y del método de Dunnett (comparaciones múltiples con un testigo) en comparación con los métodos de Bechhofer y Hsu que son específicos para la selección de medias. Las comparaciones se hicieron en un modelo balanceado con un criterio de clasificación, utilizándose como referencia el método de Bechhofer. Los resultados mostraron que el método de Bechhofer fue el más adecuado para la selección de medias. El método de Dunnett coincidió en sus resultados numéricos con el de Hsu (comparaciones contra el mejor); ambos superaron a los métodos de Tukey y Duncan, por lo cual el método de Dunnett fue una buena alternativa. Entre los métodos de Tukey y Duncan, Duncan fue mejor, ya que el de Tukey fue demasiado conservador.

3.2. BASES TEÓRICAS

3.2.1. AGUAS RESIDUALES

Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua, y de tipo agropecuario, se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales, son residuales pues, habiendo sido usada el agua constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen, cuyas características son mayoritariamente Orgánicas desechos sanitarios, cafeterías. (Marsilli, 2005)

La diferencia entre aguas servidas y residuales es en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domesticas e industriales. En todo caso están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno (Gómez, 2002).

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. A este aporte natural se debe adicionar las descargas de desagües domésticos, industriales y agrícolas. En general la turbiedad del agua es causada por las partículas de materias inorgánicas (arcillas y partículas en suspensión), en tanto que el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal (hierro por ejemplo). (Andia, 2000).

3.2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Es cualquier proceso físico, químico o biológico, definido para depurar las condiciones de las aguas residuales a través de proceso unitario preliminares primarios (coagulación - floculación), secundarios (análisis microbiológicos), o

avanzados (biorremediación), a fin de cumplir normas establecidas (Hernández, 2005).

Los tratamientos de aguas residuales consiste en la aplicación de tecnologías conocidas para mejorar o incrementar la calidad del agua residual. Los procesos físicos químicos, juegan un papel importante en el tratamiento de aguas residuales, solos o en combinación con los métodos mecánicos, químicos y biológicos. La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan la fuerzas de separación entre ellas, y las floculación, a la aglomeración de las partículas suspendidas pequeñas que andan sueltas, forman flocs más pesado y fácilmente sedimentables por ser un tratamiento primario poco avanzado (Romero, 2006)

3.2.3. COAGULACIÓN

La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancias químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible.

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.

- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros.
- El uso de cualquier otro proceso para la remoción de partículas muy finas, como la sedimentación simple, resulta muy poco económico y en ocasiones imposible, debido al alto tiempo requerido.

Para la evaluación de este proceso es necesario tener en cuenta las características físicas y químicas del agua, la dosis del coagulante, la concentración del coagulante, el punto de aplicación del coagulante, la intensidad y el tiempo de mezcla y el tipo de dispositivo de mezcla.

3.2.4. FLOCULACIÓN

La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico – flóculos.

Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración.

3.2.5. TURBIEDAD

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos

destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada (Rodríguez, 2006).

3.2.6. ALMIDÓN

El almidón es un Polisacárido de reserva alimenticia predominante en las Plantas, constituido por amilosa y amilopectina, es un polímero con poder gelificante que han dado mejores rendimientos y vale la pena considerarlos para su uso en plantas de tratamiento de aguas residuales, son los que se producen en las reacciones bioquímicas. Muchos de estos componentes tiene propiedades coagulantes o floculantes y son usados por los nativos en forma empírica para clarificar el agua, como pasa con la penca de la tuna o nopal (que se emplea en las sierras del Perú y en México) o con las semillas del nirmalí (utilizado en la India) (Hernández, 2005).

Los componentes de polímeros naturales (los almidones), los cuales contienen polisacáridos ampliamente utilizados en la industria, especialmente en productos farmacéuticos, alimenticios y textiles. Por eso, su empleo como coagulante o floculante consumiría solamente una fracción de su producción total. Su eficiencia a este respecto, ha sido comprobada repetidas veces por varios investigadores (Gómez, 2002).

3.2.7. TUNA

La revisión de los aspectos teóricos de las sustancias naturales que se plantea en la investigación del coagulante natural alternativo, específicamente la obtención,

preservación y aplicación de los polisacáridos de la Tuna (*Opuntia ficus*) como coagulante y/o ayudante de coagulación en agua residuales de alta turbiedad y alta alcalinidad (Hernández, 2005).

Los derivados de la tuna o nopal son polvos blancos solubles en agua que se extractan con relativa facilidad del Mucílago. Han sido probados con agua turbia artificial y natural y han dado resultados comparables o mejores que los de los polímeros sintéticos en el tratamiento de aguas superficiales. Su producción no ha sido hecha en escala industrial hasta el momento, pero podría hacerse.

3.2.8. PRUEBA DE HIPOTESIS

La prueba de hipótesis determina si una afirmación acerca del valor de un parámetro poblacional debe ser o no rechazada.

Una hipótesis estadística es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que es obtenida de la población.

A. Elaboración de la hipótesis nula y alternativa

Cuando se hace una prueba de hipótesis se empieza por hacer una suposición tentativa acerca del parámetro poblacional. A esta suposición tentativa se llama hipótesis nula y se denota por H_0 . Después se define otra hipótesis, llamada hipótesis alternativa, que dice lo contrario de lo que establece la hipótesis nula y se denota H_A .

B. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba es un numero calculado a partir de los datos y la hipótesis nula, cuya magnitud permite discernir si se rechaza o no la hipótesis nula H_0 . Al conjunto de posibles valores del estadístico de prueba que llevan a rechazar H_0 se le llama región o intervalo de rechazo para la prueba, y a los posibles valores donde no se rechaza H_0 se les llama región o intervalo de aceptación.

C. Criterio de rechazo

El estadístico de prueba, construido bajo el supuesto de que H_0 es verdad, es una variable aleatoria con distribución conocida. Si efectivamente H_0 es verdad, el valor del estadístico de prueba debería caer dentro del rango de valores más probables de su distribución asociada, el cual se conoce como región de aceptación. Si cae en una de las colas de su distribución asociada, fuera del rango de valores probables (En la región de rechazo), es evidencia en contra de que este valor pertenece a dicha distribución. De aquí se deduce que debe estar mal el supuesto bajo el cual se construyó, es decir, la H_0 debe ser falsa.

3.2.9. ANOVA

El análisis de la varianza (ANOVA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en partes con las que contribuye cada fuente en la variación en el experimento. En el caso del diseño completamente al azar, se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina claramente sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto, o dicho de otra manera, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan (contribuyen igual o menos que el error), se concluye que las medias son iguales.

A. ANOVA de un Factor

Se denomina modelo factorial con un factor o ANOVA con un factor al modelo en el que la variable analizada la hacemos depender de un sólo factor de tal manera que las causas de su variabilidad son englobadas en una componente aleatoria que se denomina error experimental.

La forma general de esta prueba de hipótesis es:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

H_A : No todas las medias poblacionales son iguales

Cada una de las k poblaciones o tratamientos se toma una muestra aleatoria simple de tamaño n_j . Para los datos muestrales, sean:

x_{ij} = valor de la observación i del tratamiento j

n_j = número de observaciones en el tratamiento j

\bar{x}_j = media muestral del tratamiento j

s_j^2 = varianza muestral del tratamiento j

s_j = desviación estándar muestral del tratamiento j

Para probar la hipótesis dada por las relaciones mediante la técnica ANOVA, se debe separar la variabilidad total de los datos, para ello se tiene que una medida de la variabilidad total presente en las observaciones es la suma total de cuadrados dada por:

$$STC = SCTR + SCE$$

Donde:

STC : Suma total de cuadrados

SCTR : Suma de cuadrados de tratamiento

SCE : Suma de cuadrados del error

Para presentar de manera adecuada los cálculos se usa una tabla conocida como tabla para el análisis de varianza o tabla ANOVA. En la tabla N°1 se muestra la forma general de una tabla ANOVA para un diseño completamente aleatorizado.

Tabla N°1: Tabla ANOVA para un diseño completamente aleatorizado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor- <i>p</i>
Tratamientos	SCTR	$k - 1$	$CMTR = \frac{SCRT}{k - 1}$	$\frac{CMTR}{CME}$	$P(F > F_0)$
Error	SCE	$n_T - k$	$CME = \frac{SCE}{n_T - k}$		
Total	STC	$n_T - 1$			

Fuente: Elaboración propia

A la suma de los cuadrados de la fuente de variación que se indica como “Total” se le conoce como suma de cuadrados del total (STC) y que los grados de libertad que corresponden a esta suma total de cuadrados es la suma de los grados de libertad correspondientes a la suma de cuadrados debidos a los tratamientos más la suma de cuadrados debidas al error.

Observe que los resultados indican que $STC = SCTR + SCE$, donde la fórmula para estos valores es:

$$STC = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2$$

$$SCTR = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2$$

$$SCE = \sum_{j=1}^k (n_j - 1) s_j^2$$

Si la hipótesis nula es verdadera, el CMTR y el CME proporcionan dos estimaciones insesgadas e independientes de σ^2 . Por tanto, si la hipótesis nula es verdadera y si se satisfacen las suposiciones del ANOVA, la distribución muestral de CMTR/CME será una distribución F con $k - 1$ grados de libertad en el numerador y $n_T - k$ grados de libertad en el denominador. En otras palabras, si la hipótesis nula es verdadera, el valor de CMTR/CME parecerá ser un valor tomado de esta distribución F.

Pero, si la hipótesis nula es falsa, el valor de CMTR/CME será muy grande debido a que CMTR sobreestima σ^2 . Por tanto, si el valor de CMTR/CME resulta ser demasiado grande para haber sido tomado de la distribución F con $k - 1$ grados de libertad en el numerador y $n_T - k$ grados de libertad en el denominador, se rechazará H_0 . Como la decisión de rechazar H_0 está basada en el valor de CMTR/CME, el estadístico de prueba que se usa para probar la igualdad de k poblaciones es el siguiente:

$$F = \frac{CMTR}{CME}$$

Este estadístico de prueba sigue una distribución F con $k - 1$ grados de libertad en el numerador y $n_T - k$ grados de libertad en el denominador.

B. ANOVA Bifactorial

En algunos experimentos se desean obtener conclusiones acerca de más de un factor o variable. Un experimento factorial es un diseño experimental que permite obtener, simultáneamente, conclusiones acerca de dos o más factores. El término factorial se emplea debido a que las condiciones experimentales comprenden todas las posibles combinaciones de los factores. Por ejemplo, si se tienen a niveles del factor A y b niveles del factor B, se obtendrán datos de ab combinaciones de tratamientos.

Los cálculos para el análisis de varianza permitirán responder las preguntas siguientes:

- Efecto principal del factor A
- Efecto principal del factor B
- Efecto de interacción (factor A y B)

Las hipótesis de interés para los tres efectos en el modelo son:

H_0 : Efecto del factor A = 0

H_A : Efecto del factor A $\neq 0$

H_0 : Efecto del factor B = 0

H_A : Efecto del factor B $\neq 0$

H_0 : Efecto de interacción (AB) = 0

H_A : Efecto de interacción (AB) $\neq 0$

El ANOVA para el experimento factorial de dos factores se parece al del experimento completamente aleatorizado y al del experimento con bloques aleatorizado en que también hay partición de las sumas de cuadrados y los grados de libertad en sus fuentes correspondientes. La fórmula para la partición de las sumas de cuadrados en sus diversos componentes es:

$$STC = SCA + SCB + SCAB + SCE$$

Donde:

STC : Suma total de cuadrados

SCA : Suma de cuadrados del factor A

SCB : Suma de cuadrados del factor B

SCAB : Suma de cuadrados debida a la interacción

SCE : Suma de cuadrados debida al error

En la tabla N°2 se resumen las particiones de las sumas de cuadrados y de los grados de libertad:

Tabla N°2: Tabla ANOVA para el experimento factorial de dos factores con r replicaciones

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor-p
Factor A	SCA	$a - 1$	$CMA = \frac{SCA}{a - 1}$	$\frac{CMA}{CME}$	$P(F > F_0^A)$
Factor B	SCB	$b - 1$	$CMB = \frac{SCB}{b - 1}$	$\frac{CMB}{CME}$	$P(F > F_0^B)$
Interacción	SCAB	$(a - 1)(b - 1)$	$CMAB = \frac{SCAB}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{CMAB}{CME}$	$P(F > F_0^{AB})$
Error	SCE	$ab(r - 1)$	$CME = \frac{SCE}{ab(r - 1)}$		
Total	STC	$n_T - 1$			

Fuente: Elaboración propia

Donde se emplea la notación siguiente:

\bar{x} = media muestral general de todas las n_T observaciones

a = número de niveles (valores) del factor A

b = número de niveles (valores) del factor B

r = número de replicaciones

n_T = número total de observaciones realizadas en el experimento; $n_T = abr$

Para calcular los estadísticos F que se necesitan para las pruebas de significancia del factor A, del factor B y de la interacción, se necesitan calcular CMA, CMB, CMAB y CME. Para calcular estos cuatro cuadrados medios (o medias de cuadrados), se deben calcular primero SCA, SCB, SCAB y SCE; con esto se calcula también STC. Para simplificar, los cálculos se dividen en cinco pasos:

Paso 1. Calcular la suma total de cuadrados

$$STC = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r (x_{ijk} - \bar{x})^2$$

Paso 2. Calcular la suma de cuadrados del factor A

$$SCA = br \sum_{i=1}^a (\bar{x}_{i\cdot} - \bar{x})^2$$

Paso 3. Calcular la suma de cuadrados del factor B

$$SCB = ar \sum_{j=1}^b (\bar{x}_{\cdot j} - \bar{x})^2$$

Paso 4. Calcular la suma de cuadrados debida a la interacción

$$SCAB = r \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{i\bullet} - \bar{x}_{\bullet j} + \bar{x})^2$$

Paso 5. Calcular la suma de cuadrados debida al error

$$SCE = STC - SCA - SCB - SCAB$$

Además de la notación ya introducida, se emplea la siguiente:

x_{ijk} = observación correspondiente a la réplica k del tratamiento i del factor A y del tratamiento j del factor B

$x_{i\bullet}$ = media muestral de las observaciones del tratamiento i (factor A)

$x_{\bullet j}$ = media muestral de las observaciones del tratamiento j (factor B)

x_{ij} = media muestral de las observaciones correspondientes a la combinación del tratamiento i (factor A) y del tratamiento j (factor B)

Con esta información se construye el análisis de la varianza tabla 02, donde se concluye si los efectos A, B y AB están activos o influyen en el factor final.

3.2.10. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

El análisis de regresión tiene como objetivo modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función a una o más variables independientes (factores). Si mediante un modelo matemático es posible describir tal relación, entonces este modelo puede usarse para propósitos de predicción, optimización o control.

Para estimar los parámetros de un modelo de regresión son necesarios los datos, los cuales pueden obtenerse de experimentos planeados, de observaciones de fenómenos no contralados o de registros históricos.

A. Coeficiente de determinación R^2

Un primer criterio para evaluar la calidad de ajuste es observar la forma en la que el modelo se ajustó a los datos. Un criterio más cuantitativo es el que proporciona el coeficiente de determinación, que en el contexto de regresión está definido por:

$$R^2 = \frac{\text{Variabilidad explicada por el modelo}}{\text{Variabilidad total}}$$

En general R^2 se interpreta como la proporción de la variabilidad en los datos, que es explicada por el modelo, donde se cumple que $0 < R^2 < 1$.

B. Coeficiente de correlación múltiple

El coeficiente de correlación, r , mide la intensidad de la relación entre la variable dependiente, Y , y el conjunto de variables o términos en el modelo (X_1, X_2, \dots, X_k) , donde el coeficiente se obtiene de la siguiente manera:

$$r = \sqrt{R^2}$$

C. Error estándar de estimación

El *error estándar de estimación* es una medición sobre la calidad de ajuste de un modelo, que es una estimación de la desviación estándar del error, σ . En el caso de la regresión lineal múltiple, está dado por:

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Me_{i,exp} - Me_{i,pre})^2}{n - k - 1}}$$

Donde:

$Me_{i,exp}$ = Dato experimental de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

$Me_{i,pre}$ = Dato reportado por el modelo matemático de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

n = Número de observaciones experimentales

k = Número de variables independientes

D. Media del error absoluto (mea)

La media de valor absoluto es otra forma de medir la calidad de ajuste:

$$mea = \frac{|Me_{i,exp} - Me_{i,pre}|}{n}$$

Donde:

$Me_{i,exp}$ = Dato experimental de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

$Me_{i,pre}$ = Dato reportado por el modelo matemático de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

n = Número de observaciones experimentales

Mientras mejor sea el ajuste, los residuos serán más pequeños y en consecuencia, también la *mea* tenderá a ser más pequeña. La *mea* se puede ver

como una medición para ver cuánto falta en promedio el modelo al hacer la estimación de la variable de respuesta.

3.3. HIPÓTESIS

3.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de un ANOVA bifactorial y modelos matemáticos permitirá explicar el fenómeno del proceso de floculación con Mucílago de penca de tuna (nopal) y el almidón de papa en aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas.

3.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- El efecto de las variables porcentaje de Mucílago de penca de tuna y almidón de papa, presentara mayor incidencia durante el fenómeno del proceso de floculación en aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas
- La interacción de las variables porcentaje de Mucílago de penca de tuna y el porcentaje de almidón de papa mejorara el proceso de floculación en aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas
- Los modelos matemáticos permitirán determinar el comportamiento matemático para el proceso de floculación con Mucílago de penca de tuna (Nopal) y almidón de papa de las aguas residuales del camal Municipal de la ciudad de Andahuaylas.

CAPÍTULO 4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. TIPO DE ESTUDIO

- Es exploratorio de acuerdo a los objetivos, debido a que se deberán conocer el efecto de las variables, Mucílago de penca de tuna y el almidón de papa, y describir los fenómenos que ocurren durante la floculación, coagulación y sedimentación.
- Es prospectiva de acuerdo a la captación de información, debido a que primeramente se generarán datos (fuente primaria) en el proceso de floculación para luego ser analizadas y estudiadas.
- Es longitudinal de acuerdo al tiempo, debido a que los datos para la evaluación serán tomados en el tiempo, es decir durante el desarrollo de la investigación, vale decir en la floculación.
- Es comparativa de acuerdo a la población de estudio, debido a que las variables tomaran distintos valores (niveles), y se tendrá comparación de tratamientos a fin de poder optimizar a través de moldeos matemáticos el proceso de floculación.
- Es aplicada de acuerdo al fin que persigue, porque la investigación que se pretende realizar se encuentra dentro de la competencia de la ingeniería industrial, para lo que se deberá tener en cuenta los tópicos y conceptos estudiados en toda la formación académica.
- Es experimental de acuerdo a la técnica de contrastación, debido a que se manipularan variables en diferentes niveles o valores.

4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

4.2.1. POBLACIÓN

El universo y/o población del trabajo de investigación se refiere al agua residual procedente del camal Municipal de Andahuaylas que desemboca en el río Chumbao.

Por otra parte la población de pencas de Nopal, se considera los cultivos silvestres ubicados en la zona de Santa Rosa del distrito de Talavera de la provincia de Andahuaylas.

4.2.2. MUESTRA

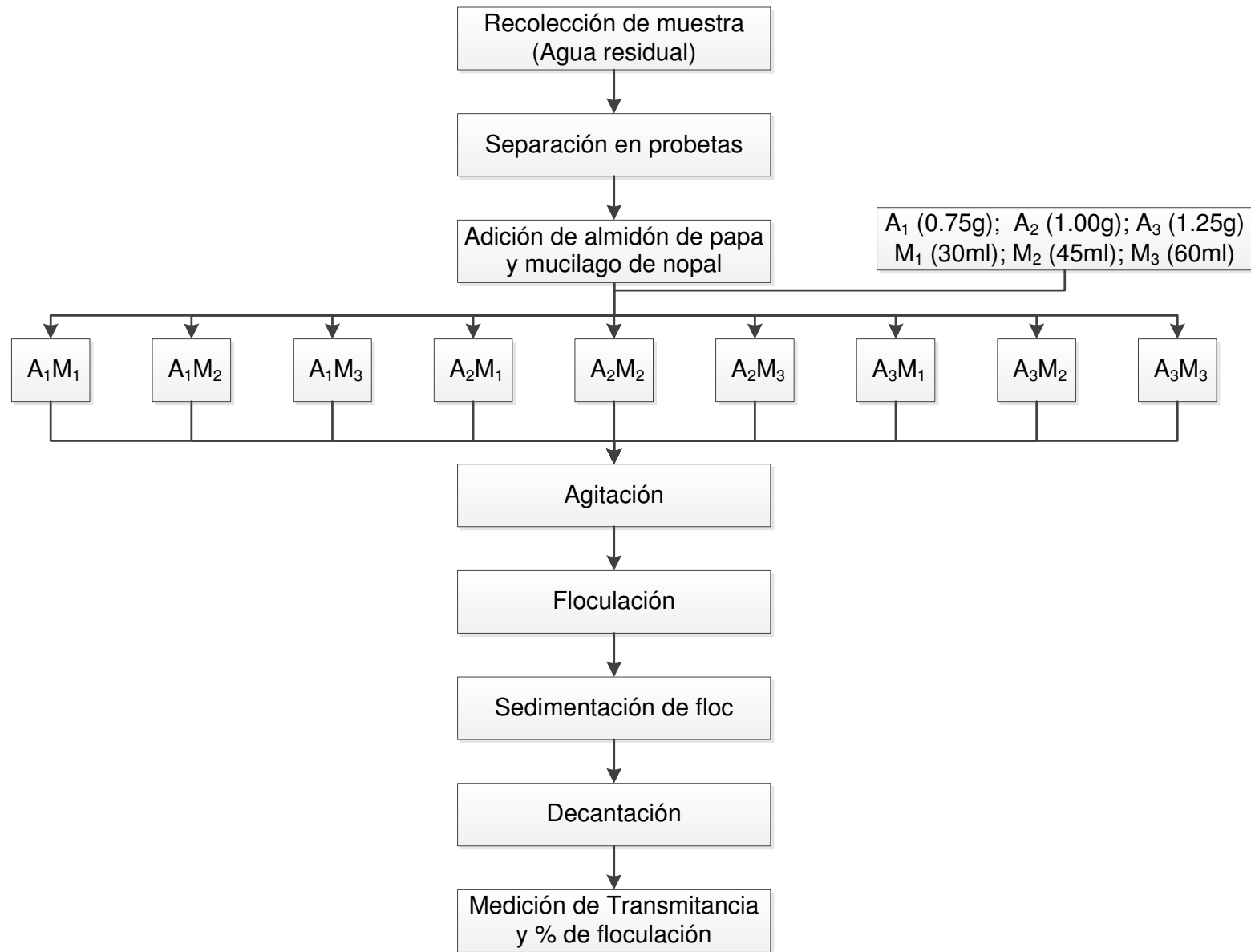
La presente investigación estará conformada por grupos intactos de aguas residuales de camal Municipal en evaluación, en volúmenes de 1000 ml, de acuerdo a la tabla N°3.

4.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.3.1. MÉTODOLOGÍA DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

El presente trabajo de investigación tal como se ha precisado en los objetivos tiene como preocupación central, realizar un análisis de varianza – ANOVA; de los datos obtenidos del proceso de floculación de aguas residuales de camal Municipal de la Provincia de Andahuaylas, siguiendo la metodología mostrado en el Gráfico N°1.

Gráfico N°1: Metodología de investigación



a) RECOLECCIÓN DE MUESTRA (AGUA RESIDUAL)

Se tomará las muestras en el camal, justo a la salida hacia el río Chumbao, donde se indicará la hora y fecha de recolección de manera exacta para tomar como referencia para el análisis de resultados.

b) SEPARACIÓN DE MUESTRA EN JARRAS O PROBETAS

Se separará las muestras en jarras o probetas, donde se distribuirá en 09 jarras o probetas por quintuplicado, siendo en total 45 unidades, cada uno con contenido de 1 litro de agua residual tomado de la salida de camal Municipal de la provincia de Andahuaylas.

c) ADICIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA Y MUCÍLAGO DE NOPAL

Se adicionará almidón de papa y Mucílago de nopal a cada jarra de manera aleatoria al azar en las 45 muestras, tomando siempre el tiempo y la hora a la que se le está adicionando el Mucílago de nopal y almidón de papa para la floculación de los sólidos suspendidos.

d) AGITACIÓN

Se agitará a 150 rpm durante 3 minutos y a continuación a 25 rpm durante 12 minutos. Transcurrido este tiempo se levanta el agitador, teniendo cuidado de no romper flóculos, y se dejará decantar 12 minutos.

e) FLOCULACIÓN

El objetivo principal de la floculación será reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimentaran con

mayor eficiencia, durante el tiempo de 12 minutos de sedimentación para cada muestra que se estudiará.

f) SEDIMENTACIÓN DE FLOC

Se dejará sedimentar durante 12 minutos para la formación de floc, a cada una de las jarras o muestras de estudio.

g) DECANTACIÓN

En la decantación se procederá a la separación del floc del agua tratada, donde nos permitirá ver el área mínima ocupada por el floc, coeficiente de acondicionamiento y la altura mínima de la zona de compresión de sólidos.

4.3.2. METODOS DE ANÁLISIS

a) VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN

El procedimiento a seguir será el recomendado por (Gómez, 2002), que a continuación se detalla:

1. Se prepararan 45 jarras o probetas de 1000 ml de capacidad, introduciendo en cada uno agua residual.
2. Se utilizará la disolución de los coagulantes en el agua residual, añadiéndose las cantidades respectivas a cada tratamiento de acuerdo al arreglo experimental.

3. Se tomará de cada muestra la parte del sedimento de sólidos presentes en la parte inferior de la jarra o probeta y se llevará a medir el volumen total ocupado por el floc o floculós.
4. Se realizará la sustracción de volumen inicial – volumen de floc o floculos para determinar el espacio ocupado por el sedimento.
5. Se repetirá los mismos pasos para las 45 muestras en estudio.

b) COLOR

Se seguirá la metodología empleada en la guía de técnicas seleccionadas para la espectrofotometría citado por (Tierra, 2000). El cual consiste en:

1. Se encenderá el equipo y luego se dejará que se estabilice por 5 minutos.
2. Se seleccionará la longitud de onda (550 nm).
3. Se ajustará al 0% de transmitancia; donde se llevará al 100% de transmitancia, con el portatubo vacío y cubierto.
4. Luego se ajustará al 100% de transmitancia, colocando en el portatubo el tubo con la solución de referencia o blanco, lleno hasta la mitad y haciendo coincidir la marca del tubo con la del portatubo.
5. Se tapará en adelante y no se modificará los ajustes.

6. Se retirará el tubo con el blanco y se colocará la muestra incógnita o los testigo, se pasará a leer el porcentaje de transmitancia o absorbancia, de la misma forma; tubo lleno hasta la mitad y haciendo coincidir las marcas del tubo y portatubo.

Donde:

Agua no filtrada = coloración aparente.

Agua filtrada = coloración efectiva.

7. Después de realizar cada lectura de las incógnitas lavar con agua destilada o con la solución de referencia o blanco haciendo coincidir la marca del tubo con la del portatubo para garantizar la obtención de resultados reales.

8. Se repetirá los mismos pasos para las 45 muestras en estudio

4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo de investigación se utilizará un arreglo factorial de 3^2 , con un total de 9 tratamientos, los cuales serán distribuidos según el arreglo del Diseño Estadístico de Bloques Completamente al Azar - DBCA, considerando 05 repeticiones, lo que da un total de 45 unidades experimentales, bajo este arreglo estadístico que se desarrollará de acuerdo al tabla N°3.

Tabla N°3: Matriz de diseño experimental

Tratamiento	Variable de entrada		Variable de salida
	% de Mucílago de Nopal	% de Almidón de papa	
1	+	+	R1
2	0	+	R2
3	-	+	R3
4	+	0	R4
5	0	0	R5
6	-	0	R6
7	+	-	R7
8	0	-	R8
9	-	-	R9

Fuente: Elaboración propia

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se realizara el análisis estadístico a las variables de respuesta tales como % de floculación y transmitancia del agua tratada, los análisis serán los siguientes:

4.5.1. ANÁLISIS DE VARIANZA BIFACTORIAL – ANOVA

Es bifactorial debido a que se manipula 02 variables de entrada % de floculación y Transmitancia del agua tratada, ajustándose a un DBCA. Este ANOVA nos permitirá verificar la existencia de diferencias significativas entre medias de los resultados de los 09 tratamientos.

Para probar las diferencias significativas que propone las hipótesis.

Prueba de ANOVA

Hipótesis nula – H_0 : El porcentaje de almidón, no tiene efecto en la floculación del agua residual entre tratamientos.

Hipótesis nula – H_0 : El porcentaje de Mucílago de Tuna, no tiene efecto en la floculación del agua residual entre tratamientos.

Hipótesis alterna – H_A : El porcentaje de almidón, tiene efecto en la floculación del agua residual entre tratamientos.

Hipótesis alterna – H_A : El porcentaje de Mucílago de Tuna, tiene efecto en la floculación del agua residual entre tratamientos.

Nivel de significancia (α)

Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se emplea $\alpha = 0.05$

Criterio para la prueba de hipótesis

Se rechaza H_0 , si $\alpha > p\text{-value}$ o $F_{\text{calc}} > F_{\text{crit}}$

Donde p-value, es la probabilidad evaluada para una distribución normal de los datos, esta se obtiene de la tabla del ANOVA

TEST TUKEY

Para conocer la diferencia significativa existe entre pares de tratamientos se aplicará el test Tukey para datos cuantitativos, cuya hipótesis es:

Prueba para el método de tukey

Hipótesis nula – H_0 : La media del porcentaje de floculación de las aguas residuales de un par de tratamientos son iguales

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j, \text{ para algún } i, j \text{ (tratamientos)}$$

Hipótesis alterna – H_A : La media del porcentaje de floculación de las aguas residuales de un par de tratamientos son diferentes.

$$\bar{x}_i \neq \bar{x}_j, \text{ para algún } i \neq j \text{ (tratamientos)}$$

Nivel de significancia (α)

Para el caso de comparaciones de tratamientos habitualmente se emplea $\alpha = 0.05$

Criterio para la prueba de hipótesis

Para probar cuál de los tratamientos son diferentes unos de otros, se considerará el siguiente criterio:

$$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > T_\alpha; \text{ Hay diferencia significativa entre tratamientos (diferentes estadísticamente)}$$

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| < T_\alpha$; No hay diferencia significativa entre tratamientos (iguales estadísticamente)

Donde T_α , es el estadístico Tukey, ecuación (01)

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CME}{n}} \quad \text{ec. (01)}$$

Donde:

$q_\alpha(k, N - k)$, valor normalizado de la distribución Tukey

CME, cuadrado medio de error, obtenido de la tabla ANOVA

n, número de datos

La comparación se realizó entre todos los tratamientos, y fueron:

$$\text{No de comparaciones} = \frac{T(T - 1)}{2} = \frac{9(9 - 1)}{2} = 36$$

4.6. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

La determinación de los valores adecuados u óptimos de las variables de entrada o independientes en el proceso de floculación, se realizará a través de modelos matemáticos a fin de conocer el efecto de las variables sobre la respuesta, los modelos matemáticos se probarán utilizando estadígrafos de ajuste, para lo cual se utilizará el software estadístico Statistica V5 y el utilitario Solver de Excel (2010).

4.6.1. GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

Se generaran modelos algebraicos de primer orden (ecuación 02) y segundo orden (ecuación 03) (Gutiérrez y de la Vara, 2012):

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \quad \text{ec. (02)}$$

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \sum \beta_{ij} X_i X_j \quad \text{ec. (03)}$$

Donde:

Y, es el pronóstico de la variable de respuesta o dependiente, tal como: % de floculación, Transmitancia.

X_i, variable de entrada o independiente, como el porcentaje de Mucílago de nopal.

X_j, variables de entrada, como el porcentaje almidón de papa.

β_{i,j}, son los coeficientes de las variables independientes.

4.6.2. AJUSTE DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

El ajuste de los modelos, será desarrollado a través del método de estimación de los mínimos cuadrados, que consiste en encontrar la diferencia mínima (Dif min) entre los valores experimentales y los valores reportados por el modelo matemático (Tarifa, 2000), tal como se indica en la ecuación (04).

$$Dif \min = (Me_{i,exp} - Me_{i,pre})^2 \rightarrow 0, \Rightarrow Me_{i,exp} \cong Me_{i,pre}$$

Donde:

$Me_{i,exp}$ = Dato experimental de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

$Me_{i,pre}$ = Dato reportado por el modelo matemático de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

Mientras que la calidad de ajuste de los modelos, se evaluará a través del error medio absoluto mea de acuerdo a la ecuación (05), presentando mejor ajuste aquella que presente una mea menor al 10% (Gutiérrez y de la Vara, 2012). Así mismo se evaluará error estándar esperado SEE aplicando la ecuación (06), presentando un mejor ajuste aquel modelo que presente menor valor de SEE.

$$\%mea = \frac{100}{N} * \sum_{i=1}^n \left| \frac{Me_{i,exp} - Me_{i,pre}}{Me_{i,exp}} \right| \quad \text{ec. (05)}$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Me_{i,exp} - Me_{i,pre})^2}{N-n}} \quad \text{ec. (06)}$$

Donde:

$Me_{i,exp}$ = Dato experimental de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

$Me_{i,pre}$ = Dato reportado por el modelo matemático de la variable dependiente correspondiente para la formulación “i”.

N = número de observaciones experimentales

n = Número de constantes en el modelo

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LA TRANSMITANCIA

El proceso floculación se llevó a cabo considerando 02 variables de entrada o factores tales como los gramos de Almidón de papa y los ml de Mucílago de penca de tuna, teniendo como variable de respuesta la Transmitancia para los diferentes tratamientos, los resultados promedio (Los datos completos se presentan en el Anexo N°2) se muestran en la tabla N°4.

Tabla N°4: Resultados de la Transmitancia para los tratamientos

Tratamiento	g de Almidón	ml Mucílago	Transmitancia	
			\bar{x}	s
T1	0.75	30	92.38	± 5.24
T2	0.75	45	92.73	± 5.61
T3	0.75	60	94.44	± 4.12
T4	1	30	94.73	± 3.14
T5	1	45	92.80	± 5.06
T6	1	60	93.09	± 4.26
T7	1.25	30	92.77	± 5.09
T8	1.25	45	95.09	± 4.24
T9	1.25	60	92.11	± 5.34

Fuente: Elaboración propia

De tabla N°4, se puede apreciar que el tratamiento T8 es el que presenta mayor valor de Transmitancia, esto es indicativo de que la combinación 1.25 g de almidón y 45 ml de Mucílago logra menor turbidez en el agua tratada del camal, para Díaz (2008) valores altos de la Transmitancia son indicativos de una baja absorción de luz, es decir la muestra líquida presenta pequeñas concentraciones de sólidos en suspensión. Aunque para todos los casos se logra transmitancias por encima de 92, lo cual indica un bajo contenido de solidos suspendidos.

Por otro lado el tratamiento T2 presenta la mayor desviación estándar, esto refleja las fluctuaciones en el contenido inicial del agua sin tratar, o puede deberse a algunos errores aleatorios durante la experimentación, no obstante las desviaciones para todos los tratamientos están por encima de ± 3.14 .

Asimismo se aplicó un ANOVA de dos factores, donde para realizar la prueba de hipótesis se usara el nivel de significancia, $\alpha = 0.05$, el cual se muestra en la tabla N°5, de esta se observa que para el caso del efecto del almidón, no existe diferencia significativa entre tratamientos ($p\text{-value} > 0.05$), es decir cualquier medida de almidón en el rango establecido (de 0.75 g a 1.25 g) reportará los mismos resultados de Transmitancia o turbidez en el agua, de la misma manera el factor Mucílago, indica que no presenta diferencia significativa entre tratamientos, esto es $p\text{-value} > 0.05$.

Tabla N°5: ANOVA bifactorial para la Transmitancia

Fuente	GL	SC	MC	$F_{\text{calculado}}$	$p\text{-value}$
Almidón	2	2.28	1.1395	0.05	0.951
Mucílago	2	2.11	1.0559	0.05	0.954
Interacción	4	111.79	27.948	1.25	0.297
Error	99	2221.6	22.441		
Total	107	2337.8			

Fuente: MIITAB 15. INC. (2004)

5.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA EL PORCENTAJE DE FLOCULACIÓN

La cantidad de floculo sedimentado, se ha medido a través del porcentaje de Floc, los resultados se muestran en la tabla N°6 (Los datos completos se presentan en el Anexo N°3), en ella se aprecia que para los tratamientos con mayor cantidad de g de almidón (tratamientos T7, T8 y T9) el % de Floc es mayor, esto debido a que

a mayor cantidad de almidón mayor será el sedimento, además el incremento de ml de Mucílago incrementa la carga de Floc.

En referencia a la desviación estándar los tratamientos T2, T7 y T9, presentaron menor variabilidad, esto se puede deber al hecho de que la toma del agua residual se hizo en otra momento.

Tabla N°6: Resultados del porcentaje de Floc para los tratamientos

Tratamiento	g de Almidón	ml Mucílago	% de Floc	
			\bar{x}	s
T1	0.75	30	9.20	± 0.49
T2	0.75	45	8.77	± 0.08
T3	0.75	60	7.97	± 0.20
T4	1	30	9.27	± 0.41
T5	1	45	8.63	± 0.31
T6	1	60	8.67	± 0.47
T7	1.25	30	9.55	± 0.05
T8	1.25	45	9.20	± 0.45
T9	1.25	60	9.73	± 0.08

Fuente: Elaboración propia

A fin de determinar la diferencia significativa de los tratamientos, se aplicó un ANOVA bifactorial, los resultados se muestran en la tabla N°7, en ella se aprecia que el *p-value* es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), esto indica que el porcentaje de Floc para cada tratamiento es diferente.

Tabla N°7: ANOVA bifactorial para el porcentaje de Floc.

Fuente	GL	SC	MC	$F_{calculado}$	$p-value$
Almidón	2	7.052	3.526	32.15	0.00
Mucílago	2	3.189	1.595	14.54	0.00
Interacción	4	3.914	0.979	8.92	0.00
Error	45	4.935	0.110		
Total	53	19.090			

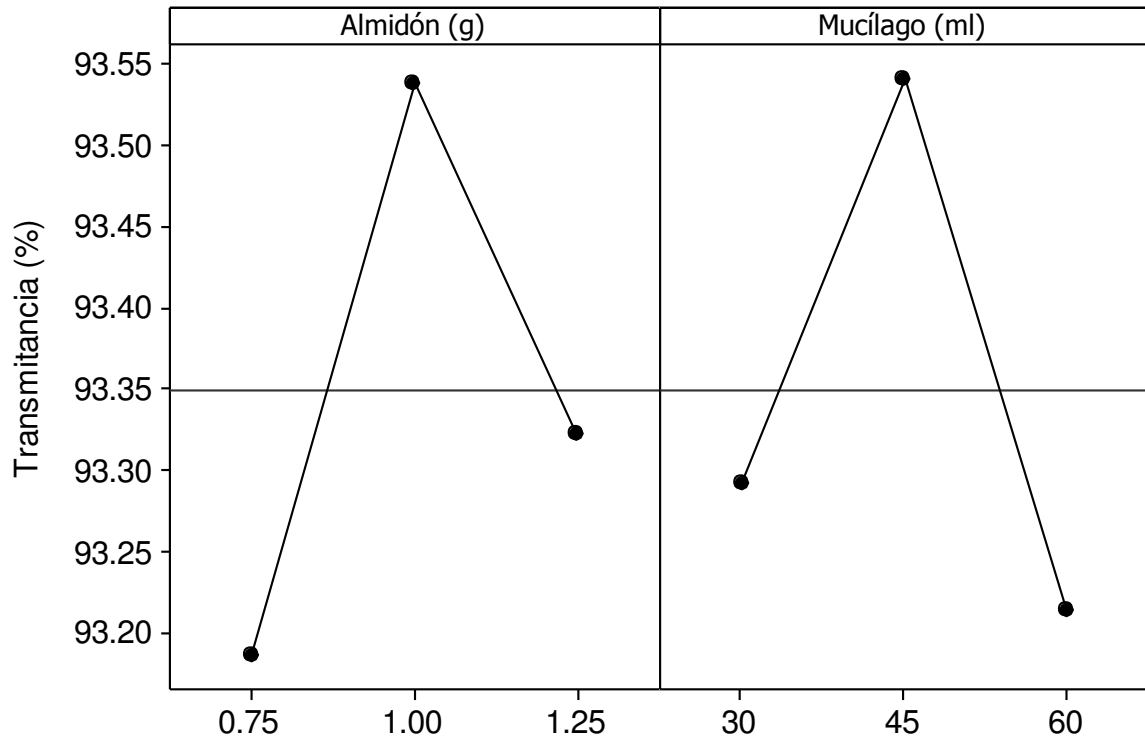
Fuente: MIIITAB 15. INC. (2004)

5.3. EFECTO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

En el gráfico N°2, se muestra el efecto individual de las variables: g de almidón y ml de Mucílago, sobre la Transmitancia, donde se aprecia que para el nivel menor y mayor la Transmitancia es mínima, sin embargo para el nivel medio es decir para 1.0 g de almidón se logra mejor Transmitancia, aunque de acuerdo al ANOVA (Tabla N°5), no existe diferencia significativa, sin embargo se puede observar que a esta concentración se logra una alta Transmitancia.

El mismo hecho se puede apreciar para el comportamiento del Mucílago, es decir que para 45 ml resulta mejor la Transmitancia (Gráfico N°2)

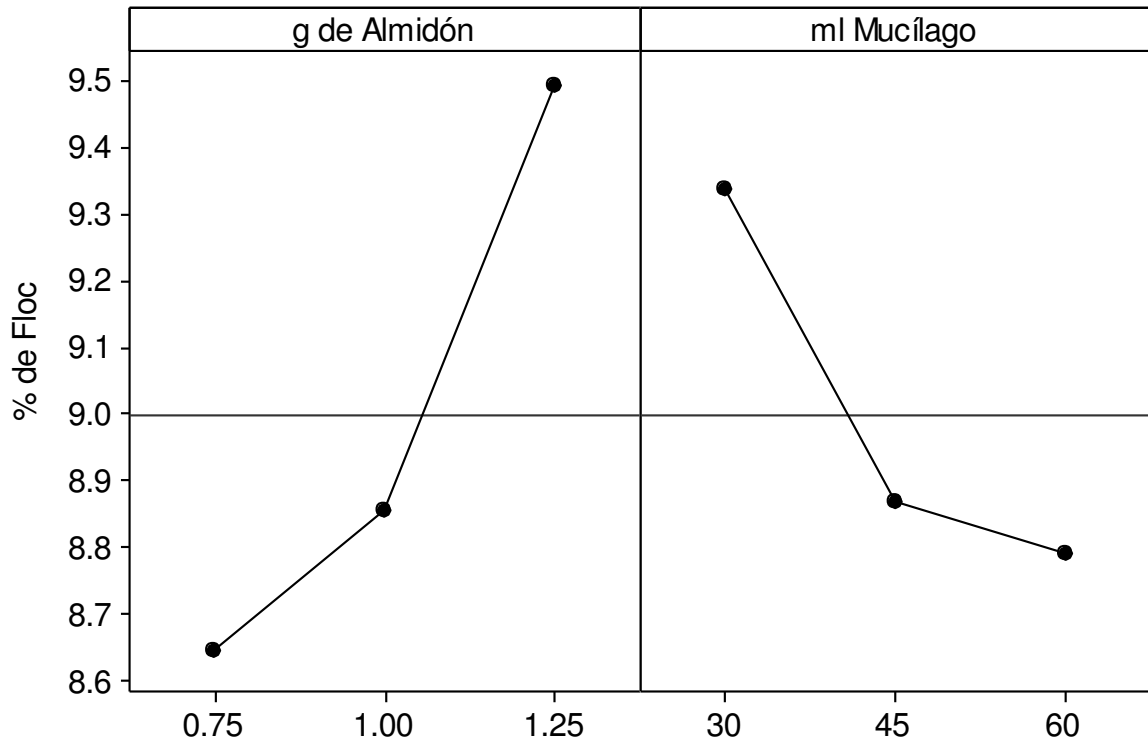
Gráfico N°2: Efecto independiente de las variables sobre la Transmitancia



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el efecto de las variables de entrada sobre el % de Floc, se muestra en el gráfico N°3, del cual se desprende que para cualquier incremento de almidón de papa, se incrementa el % de Floc, es decir tiene una relación directa, mientras que para la variable Mucílago sucede lo contrario. Es conveniente lograr menores cantidades de Floc, esto debido a que el Floc forma sedimento el cual luego será desechado, por lo que se puede concluir que la utilización de un bajo nivel de almidón y alto porcentaje de mucílago, recaerá en un bajo % de Floc.

Gráfico N°3: Efecto independiente de las variables sobre el % de Floc



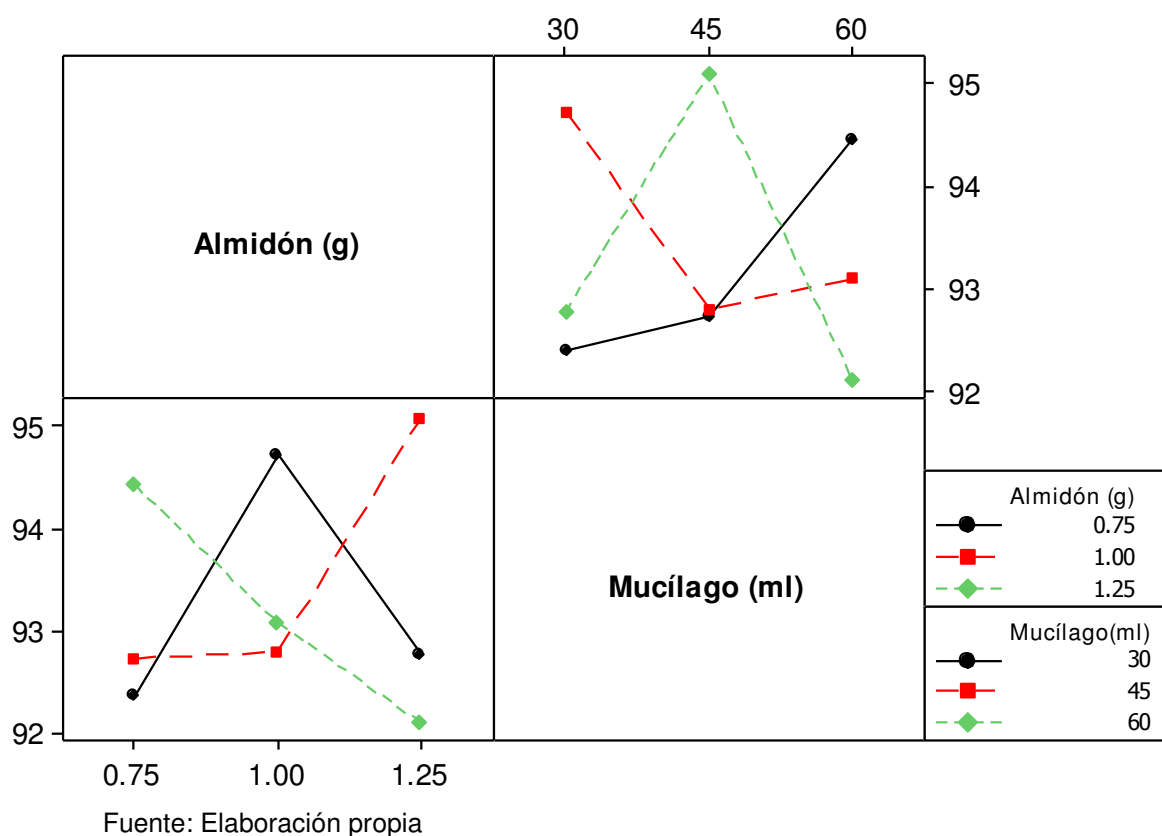
Fuente: Elaboración propia

5.4. EFECTO DE LA INTERACCIÓN DE LAS VARIABLES

La interacción de las variables de entrada en el proceso de floculación, se muestran en la gráfico N°4 para la Transmitancia, en ella se aprecia que para 0.75 g de almidón a cualquier incremento de ml de Mucílago la Transmitancia aumenta considerablemente, este hecho no sucede para las otras cantidades de almidón, al contrario un incremento de ml de Mucílago disminuye la Transmitancia.

Por otra parte, cuando se analiza el efecto combinado entre el Mucílago y el almidón de papa, se observa claramente que para 45 ml de mucílago incrementa la Transmitancia a medida que se aumenta la cantidad de almidón, lo contrario sucede para 60 ml de Mucílago, es decir disminuye la Transmitancia con el incremento de almidón de papa.

Gráfico N°4: Interacción de las variables sobre la Transmitancia

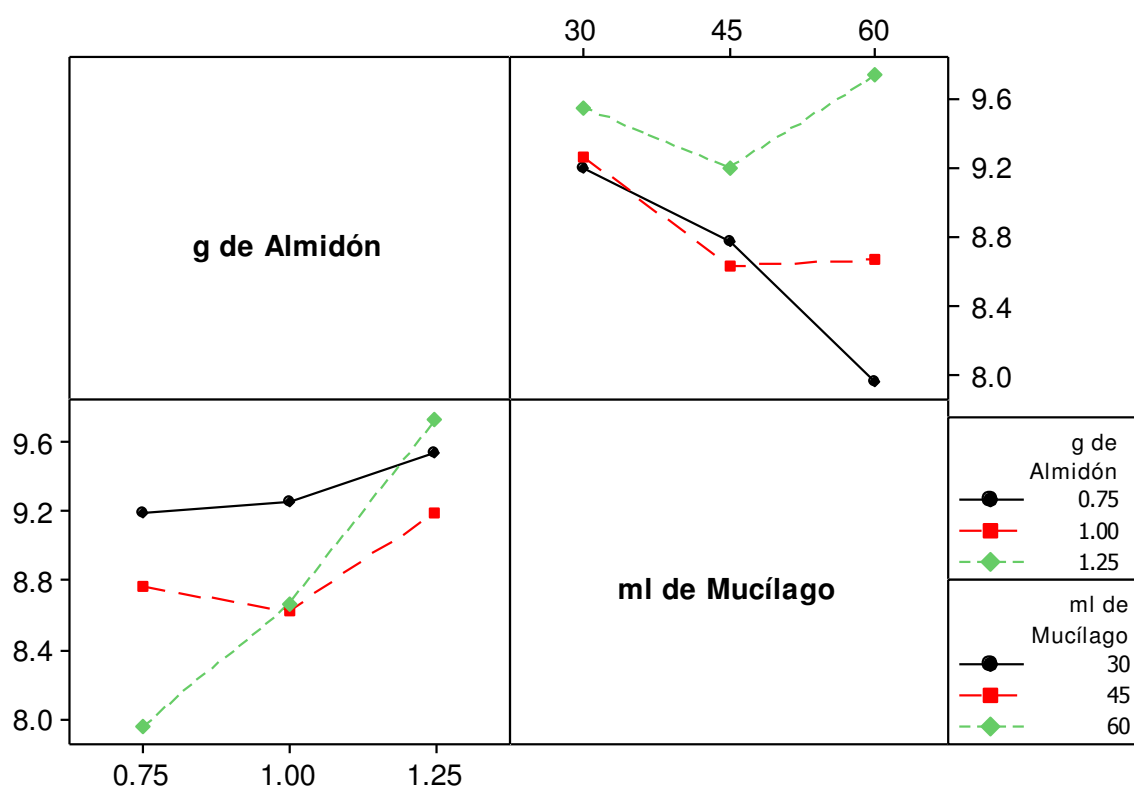


Asimismo se ha evaluado el efecto de interacción de las variables en el % de floc, a través de un diagrama de interacción que se muestra en el gráfico N°5, observándose que para 0.75 g de almidón el % de floc disminuye notablemente a medida que aumenta la cantidad de mucílago, todo lo contrario sucede cuando se utiliza 1.0 g y 1.25 g de almidón, es decir incrementa el % de floc. Sin embargo es conveniente lograr % bajo de floc.

En el mismo gráfico N°5, para todo los casos de ml de mucílago, se incrementa el % de floc cuando se incrementa los g de almidón, de todos ellos el que reporta menores valores de % de floc es cuando se utiliza 60 ml de mucílago con 0.75 g de almidón de papa

De todo lo anterior se concluye que la analizar los efectos de las interacciones podemos describir el comportamiento del proceso de floculación.

Gráfico N°5: Interacción de las variables sobre el porcentaje de Floc



Fuente: Elaboración propia

5.5. PRUEBA DE MEDIAS – TEST DE TUKEY

Con el fin de conocer la existencia de diferencia entre tratamientos, se realizó una prueba Tukey o HSD (High Difference Significance), existiendo 36 comparaciones, los cuales se muestran en la tabla N°8, cuyo criterio de contrastación de hipótesis fue:

Se rechaza H_0 , si $\alpha > p\text{-value}$, para $\alpha = 5\%$ o 0.05 .

Para realizar esta prueba se tuvo en consideración el ANOVA, en el primer caso, la evaluación de la Transmitancia del agua tratada muestra que no existe diferencia significativa entre tratamientos, es decir para todos los casos se reportan Transmitancia de agua tratada similar estadísticamente, esto es $p\text{-value} > \alpha$, sin embargo para el caso del porcentaje de floc, sucede que $p\text{-value} < \alpha$, por lo que a fin de conocer entre que tratamientos existe esta diferencia se realizó un test Tukey.

Tabla N°8: Comparación de tratamientos a través del test de Tukey

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
T1		0.3832	0.0001*	1.0000	0.1006	0.1472	0.6624	1.0000	0.1472
T2	0.3832		0.0039*	0.2092	0.9986	0.9998	0.0050*	0.3832	0.0004*
T3	0.0001*	0.0039*		0.0001*	0.0277*	0.0173*	0.0001*	0.0001*	0.0001*
T4	1.0000	0.2092	0.0001*		0.0436*	0.0670	0.8579	1.0000	0.2881
T5	0.1006	0.9986	0.0277*	0.0436*		1.0000	0.0007*	0.1006	0.0002*
T6	0.1472	0.9998	0.0173*	0.0670	1.0000		0.0011*	0.1472	0.0002*
T7	0.6624	0.0050*	0.0001*	0.8579	0.0007*	0.0011*		0.6624	0.9878
T8	1.0000	0.3832	0.0001*	1.0000	0.1006	0.1472	0.6624		0.1472
T9	0.1472	0.0004*	0.0001*	0.2881	0.0002*	0.0002*	0.9878	0.1472	

*Presenta diferencia significativa, para $\alpha = 5\%$

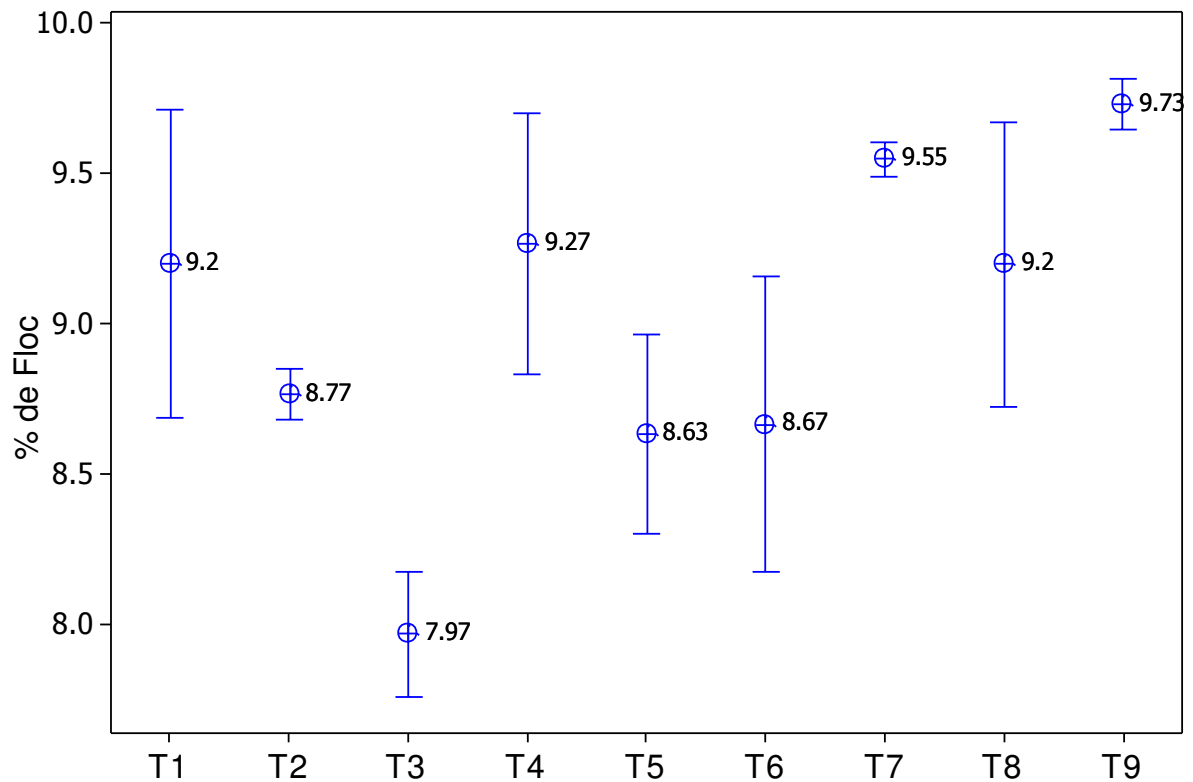
Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°8, se presenta la diferencia significativa entre tratamientos para el porcentaje de Floc, a través de valores de la probabilidad evaluada – p-value calculada por medio del Software MINITAB 15, se observa que:

- El tratamiento T1 con $9.20 \pm 0.49\%$ de floc (0.75 g de Almidón y 30 ml de Mucílago), presenta diferencia significativa con el tratamiento T3 con $7.97 \pm 0.20\%$.
- El tratamiento T2 con $8.77 \pm 0.08\%$ de floc (0.75 g de almidón y 45 ml de mucílago) muestra diferencia significativa con el tratamiento T3, T7 y T9.
- El tratamiento T3 con 7.97 ± 0.20 (0.75 g de almidón y 60 ml de mucílago), presenta diferencia significativa con el tratamiento T4, T5, T6, T7, T8 y T9.
- El tratamiento T4 con 9.27 ± 0.41 (1.00 g de almidón y 30 ml de mucílago), presenta diferencia significativa con el tratamiento T5.
- El tratamiento T5 con 8.63 ± 0.31 (1.00 g de almidón y 45 ml de mucílago), presenta diferencia significativa con el tratamiento T7 y T9.
- El tratamiento T6 con 8.67 ± 0.47 (1.00 g de almidón y 60 ml de mucílago), presenta diferencia significativa con el tratamiento T7 y T9.

Este mismo hecho puede observar en el gráfico N°6, donde se utilizó el nivel de significancia, $\alpha = 0.05$, en la que el intervalo del tratamiento T1, se solapa con los intervalos de todos los tratamientos a excepción de T3; mientras que T2 no se solapa con T3, T7 y T9, el mismo análisis se realiza para los demás casos.

Gráfico N°6: Diagrama de medias de los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

5.6. REALIZACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Para conocer el comportamiento matemático del proceso de floculación, y de las variables de respuesta como la Transmitancia y % de Floc, se ha realizado la evaluación de modelos matemáticos de 1er y 2do orden, los cuales se muestran en la tabla N°9 y N°10.

En la tabla N°9 (Los resultados preliminares se muestran en el anexo N°4), se presenta las ecuaciones o modelos probados para la Transmitancia, donde se utilizó el nivel de significancia, $\alpha = 0.05$, en ella se observa que el modelo cuadrático con interacción (Modelo 04), se ajusta de mejor manera a los datos

experimentales, esto debido a que presenta mayor valor del coeficiente de determinación múltiple R^2 (0.478), y menores valores para el %MEA (0.837), aunque el valor del SEE es relativamente mayor a comparación a los otros modelos, no obstante se considera el mejor modelo, en vista de que los dos estadígrafos R^2 y %MEA son mejores que en los otros casos.

Tabla N°9: Modelos matemáticos para la Transmitancia

N°	Modelo	Coeficientes		R^2	%MEA	SEE
1	$y = a + bX_1 + cX_2$ Lineal	a	93.194	0.062	0.999	1.268
		b	0.272			
		c	-0.003			
2	$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1X_2$ Con interacción	a	85.044	0.441	0.837	1.249
		b	8.422			
		c	0.179			
		d	-0.181			
3	$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1^2 + eX_2^2$ Cuadrático	a	86.420	0.194	0.999	1.526
		b	9.383			
		c	0.113			
		d	-4.556			
		e	-0.001			
4	$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1^2 + eX_2^2 + fX_1X_2$ Cuadrático con interacción	a	78.270	0.478	0.837	1.578
		b	17.533			
		c	0.294			
		d	-4.556			
		e	-0.001			
		f	-0.181			

Fuente: Elaboración propia

Donde:

X_1 : Gramos de Almidón

X_2 : Mililitros de Mucílago

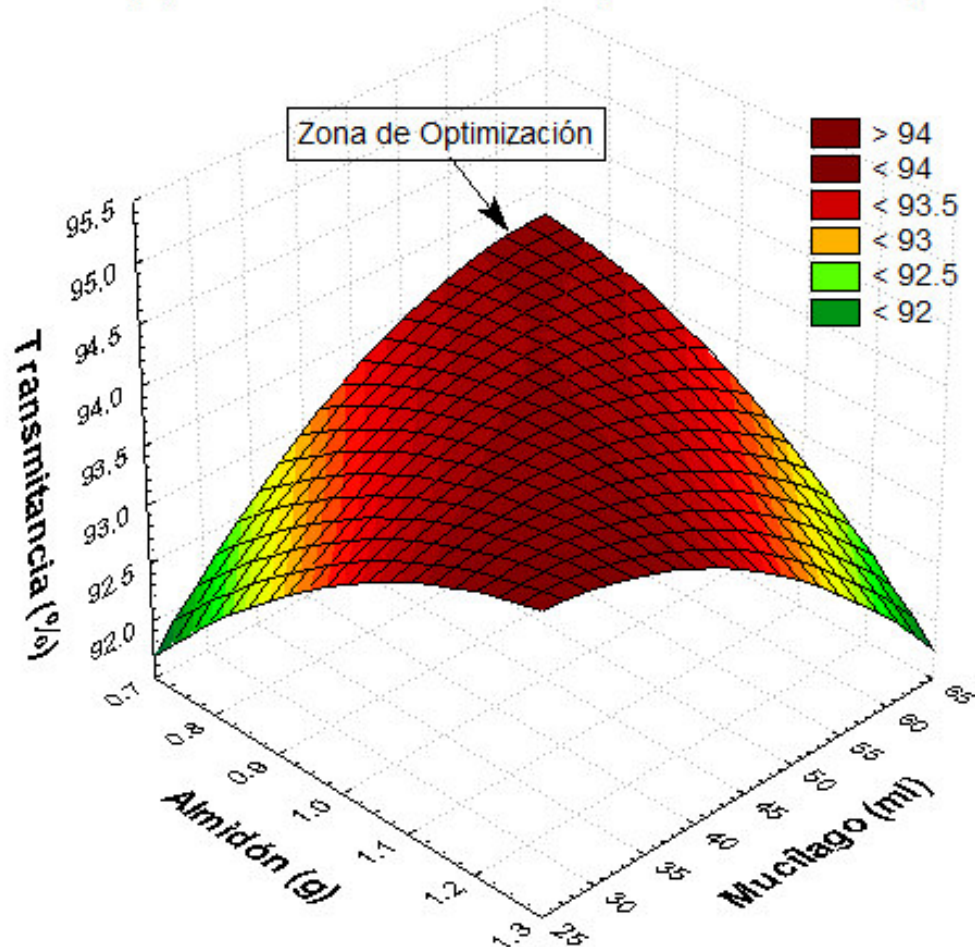
Y: Transmitancia (%)

El modelo cuadrático con interacción (Tabla N°9), presenta 06 coeficientes, el primero “a” es el intercepto, es decir que para valores mínimos o cero de las variables g de Almidón y ml de Mucílago, la Transmitancia del agua residual tratada será de 78.270%, este modelo hace ver que la influencia del Almidón sobre la Transmitancia es positiva y alta, ya que su coeficiente es de 17.533, mientras que la influencia del Mucílago es positiva pero muy baja (0.294), por otro lado el coeficiente de la interacción de las variables Almidón-Mucílago es negativa (-0.181).

Por otra parte se ha graficado la ecuación cuadrática con interacción, la cual se muestra en el gráfico N°7:

Gráfico N°7: Superficie de respuesta para la Transmitancia

$$\text{Transmitancia (\%)} = 78.2704 + 17.5333 \cdot x + 0.2941 \cdot y - 4.5556 \cdot x^2 - 0.1811 \cdot x \cdot y - 0.0013 \cdot y^2$$

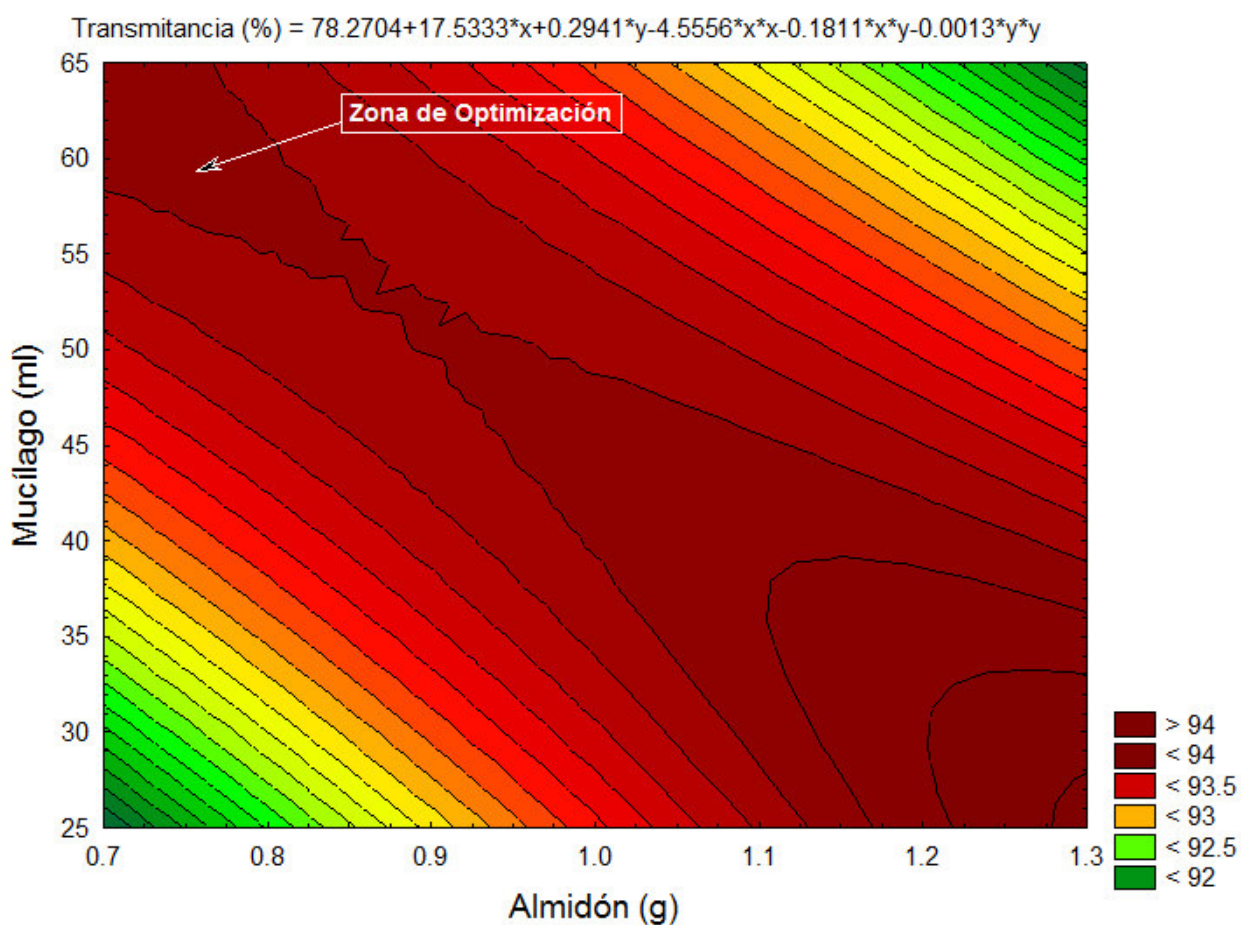


Fuente: Elaboración propia

En ella se aprecia que la zona donde se logra valores mayores a 94% de Transmitancia, se encuentra en 02 intervalos de 0.9 de Almidón y 55 ml de Mucílago, asimismo en 1.2 g de almidón y 35 ml de Mucílago, este mismo hecho se puede observar en la superficie de contorno de el gráfico N°8. A partir de estos intervalos se procederá a la optimización.

Además se puede observar que se logra Transmitancias bajas para valores bajos de Almidón y Mucílago o para valores altos de los mismos.

Gráfico N°8: Superficie de contorno para la Transmitancia



Fuente: Elaboración propia

De otro lado, también se ha evaluado modelos matemáticos para el comportamiento del % de Floc, donde se utilizó el nivel de significancia, $\alpha = 0.05$, los cuales se muestran en la tabla N°10 (Los resultados preliminares se muestran en el anexo N°5).

Tabla N°10: Modelos matemáticos para el porcentaje de Floc

N°	Modelo	Coeficientes	R^2	%MEA	SEE
1	$y = a + bX_1 + cX_2$ Lineal	a 8.123	0.807	2.792	0.370
		b 1.700			
		c -0.018			
2	$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1X_2$ Con interacción	a 12.373	0.930	1.602	0.253
		b -2.550			
		c -0.113			
		d 0.094			
3	$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1^2 + eX_2^2$ Cuadrático	a 13.046	0.851	2.502	0.404
		b -5.144			
		c -0.097			
		d 3.422			
		e 0.001			
4	$y = a + bX_1 + cX_2 + dX_1^2 + eX_2^2 + fX_1X_2$ Cuadrático con interacción	a 17.296	0.968	1.261	0.224
		b -9.394			
		c -0.192			
		d 3.422			
		e 0.001			
		f 0.094			

Fuente: Elaboración propia

Donde:

X_1 : Gramos de Almidón

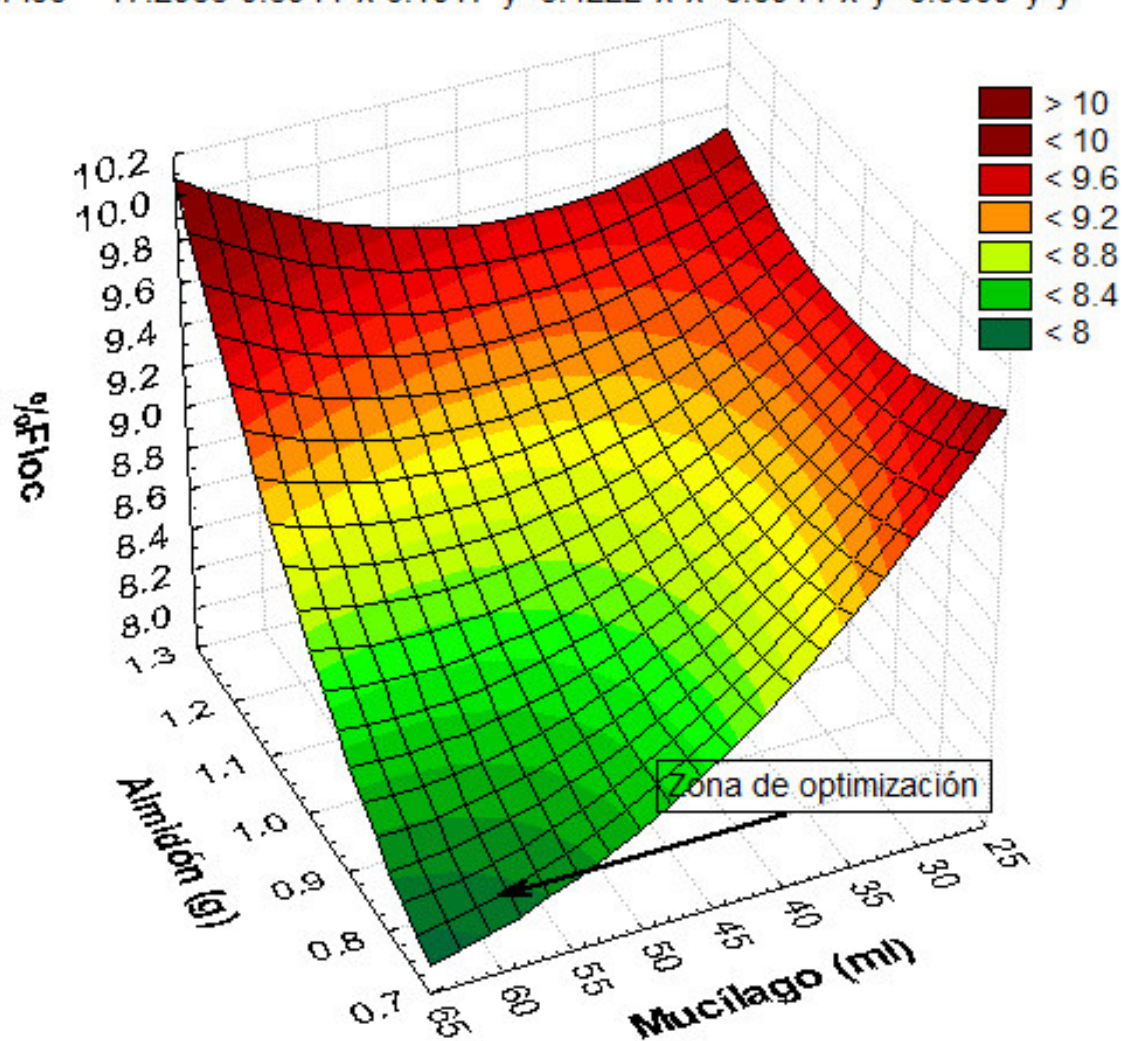
X_2 : Mililitros de Mucílago

Y: Porcentaje de Floc

En esta se aprecia que el modelo cuadrático con interacción muestra mayor valor de R^2 (0.968) bajos valores de %MEA (1.261) y SEE (0.224), en comparación a los otros modelos, esto hace que este modelo (Nº4) se ajuste de mejor manera a los datos experimentales, asimismo se aprecia que los coeficientes del Almidón y Mucílago disminuyen el porcentaje de Floc, es decir cualquier incremento de Almidón y Mucílago disminuyen el porcentaje de Floc a partir de un valor inicial de 17.296.

Gráfico N°9: Superficie de respuesta para el porcentaje de Floc

$$\%Floc = 17.2963 - 9.3944 * x - 0.1917 * y + 3.4222 * x * x + 0.0944 * x * y + 0.0009 * y * y$$

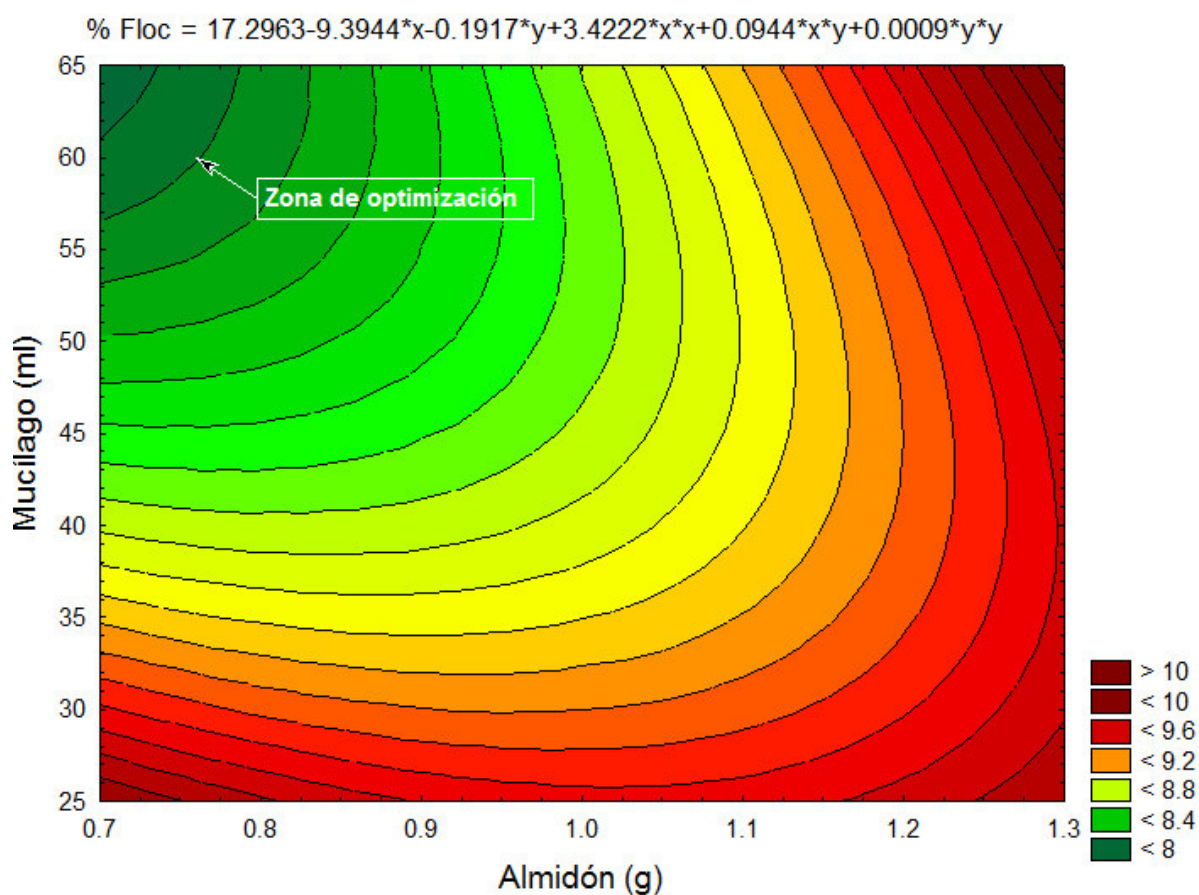


Fuente: Elaboración propia

Este mismo hecho se observa en el gráfico N°9 a través de la superficie de respuesta, donde la zona de optimización se encuentra en el intervalo de 0.90 g de Almidón y 55 ml de Mucílago, donde la zona de optimización es aquella en el cual el porcentaje de Floc debe ser lo mínima posible, porque las cantidades de Floc serán desechadas.

Además se puede observar este mismo hecho en la superficie de contorno del gráfico N°10 para el porcentaje de Floc, donde a partir de estos intervalos se procederá a la optimización de las variables de entrada de gramos de Almidón y ml de Mucílago.

Gráfico N°10: Superficie de contorno para el porcentaje de Floc



Fuente: Elaboración propia

5.7. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA

Con el fin de conocer las cantidades óptimas de gramos de Almidón y mililitros de Mucílago para 02 litros de agua residual del cama Municipal de Andahuaylas, y logras obtener la máxima Transmitancia y la mínima cantidad de porcentaje de Floc, se realizó una prueba de optimización utilizando el utilitario Solver (Excel, 2010), tomando como restricciones los niveles de gramos de almidón y ml de Mucílago utilizados.

La función objetivo fue la Transmitancia, ya que es un indicativo de la funcionalidad de los insumos o variables de entrada, mientras que el % de Floc fue la menor posible, esto debido a que la menor carga de floc implica menor cantidad de Almidón y Mucílago, lo cual podría incidir en el costo de estas. Así se consideró que el valor restringido del porcentaje de Floc fue de 8.4% de acuerdo al gráfico N°10, donde a partir de este valor se considera los valores mínimos.

Los resultados de la optimización se muestran en la tabla N°11, en donde se concluye que las cantidades óptimas de Almidón es 0.88 g y Mucílago 52.40 ml, con el cual se obtuvo una Transmitancia de 93.70% y 8.4% de Floc (Los reportes de evaluación se muestran en el Anexo N°6), en ambos casos se utilizó el modelo cuadrático con interacción para la optimización.

Tabla N°11: Valores óptimos de las variables

	Transmitancia	Floc %	Almidón (g)	Mucílago (ml)
Optimo	93.70	8.40	0.88	52.40
Max			1.25	60.00
Min			0.75	30.00

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

- Se aplicó un ANOVA de dos factores, siendo las variables de entrada g de Almidón y ml de Mucílago de penca de tuna en diferentes niveles, observándose que no existe diferencia significativa entre tratamientos ($p\text{-value} > 0.05$) para la Transmitancia, es decir a cualquier medida de g de Almidón y ml de Mucílago en el rango establecido reportara los mismos resultados de Transmitancia.
- Se aplicó un ANOVA de dos factores para el porcentaje de Floc, donde las variables de entrada fueron g de Almidón y ml de Mucílago de penca de tuna en diferentes niveles, observándose que si existe diferencia significativa entre tratamientos ($p\text{-value} < 0.05$) y estos difieren entre si indicando que el porcentaje de Floc para cada tratamiento es diferente.
- En el efecto individual de las variables g de Almidón y ml de Mucílago se aprecia que para el nivel menor y mayor de g de Almidón y ml de Mucílago la Transmitancia es mínima, mientras que para el nivel medio (1.0 g de Almidón y 45 ml de Mucílago) se obtiene mejor Transmitancia.
- En el efecto individual de las variables g de Almidón y ml de Mucílago para el porcentaje de Floc, se observa que un incremento en la cantidad de g de Almidón aumenta el porcentaje de Floc, mientras que para la variable ml de Mucílago sucede lo contrario, disminuye a medida que se incrementa la cantidad de ml de Mucílago.
- Cuando se analiza el efecto combinado de g de Almidón y ml de Mucílago, se observa que aumenta la Transmitancia cuando a los 0.75 g de Almidón se incrementa ml de Mucílago, el cual no sucede para las otras cantidades de Almidón donde un incremento de ml de Mucílago disminuye la Transmitancia,

- Cuando se analiza el efecto combinado de ml de Mucílago y g de Almidón se observa que para 45 ml de Mucílago incrementa la Transmitancia a medida que aumenta los g de Almidón, lo contrario sucede para las otras cantidades de Mucílago, la Transmitancia disminuye con el incremento de g de Almidón de papa.
- Cuando se analiza el efecto combinado de g de Almidón y ml de Mucílago para el porcentaje de Floc, este disminuye cuando a 0.75 g de Almidón se incrementa ml de Mucílago, lo cual no sucede para las otras cantidades de Almidón, mientras que para el efecto combinado de ml de Mucílago y g de Almidón, para todos los casos de ml de Mucílago, se incrementa el porcentaje de Floc cuando se incrementa los g de Almidón, siendo el nivel más bajo de porcentaje de Floc de 0.75 g de almidón y 60 ml de Mucílago.
- Para conocer el comportamiento del proceso de floculación y de las variables de respuesta como la Transmitancia y el porcentaje de Floc se han probado modelos matemáticos de 1er y 2do orden, obteniéndose que los modelos de 2do orden con interacción se ajustan mejor al proceso de floculación para evaluar la Transmitancia y el porcentaje de Floc al presentar mayor valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) y menores valores para el %MEA respecto a los otros casos.
- A partir de los modelos matemáticos se ha optimizado las cantidades de g de almidón y ml de Mucílago, para obtener la máxima Transmitancia y la mínima cantidad de porcentaje de Floc, encontrándose que para las cantidades 0.88 g de Almidón y 52.40 ml de Mucílago y una Transmitancia de 93.70% y un 8.4% de Floc

CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES

- Es importante continuar explorando floculantes y coagulantes de origen vegetal, porque estos son mejores que los inorgánicos, ya que los residuos de estos en altas concentraciones son perjudiciales para la salud e impacta de manera negativa en el medio ambiente.
- El modelo empleado en esta investigación se puede utilizar para realizar ensayos experimentales en diferentes tipos de aguas residuales, con el objetivo de verificar la eficacia y eficiencia de estas variables para tomar decisiones con respecto a la variación de la calidad del agua residual.
- Se necesitan utilizar insumos más limpios y naturales para el medio ambiente por lo que las posibilidades técnicas y ambientales de utilizar insumos naturales como coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales es factible para el medio ambiente.
- Para aumentar las propiedades de floculación y coagulación de los materiales utilizados, algunos autores sugieren la utilización de elementos orgánicos coadyuvantes como compuestos de celulosa, materiales proteínicos, gomas de polisacáridos y alginatos, estos coadyuvantes son importantes cuando hay cambios en la calidad del agua, las temperaturas son bajas o el efecto del floculante depende del nivel de pH.
- Futuras investigaciones deben involucrar en sus variables de estudios factores como pH, turbidez, color, temperatura y alcalinidad de las aguas residuales que ayuden a determinar otros parámetros de optimización para el proceso de floculación.

- Es conveniente lograr el menor porcentaje de Floc posible, porque cuando menor sea la carga de Floc menor será la utilización de Almidón y Mucílago, logrando de esta manera reducir la cantidad y el costo de estas variables en el proceso de floculación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril, N. (2008). Espectrofotetría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de Biomoléculas; Departamento de Bioquímica y Biología Molécula. Córdoba.

Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A. y Ortuño, J. (2002). Tratamiento Físico – Químico de Aguas Residuales Coagulación Floculación. 1ª Edición, Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones, España.

Anderson, D., Sweeney, D. y Williams, T. (2008). Estadística para administración y economía, 10ª edición, Cengage Learning Editores, México.

Andia, Y. (2000) Tratamiento de agua coagulación y floculación. SEDAPAL, Lima, Perú.

Arroyave, G, Rojas, O., Torres, P. (1996) Depuración anaerobia de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en sistema de fases separadas. XI SINAFERM. Simposio Nacional de Fermentacoes. Universidad Federal de Sao Carlos. Brasil.

Garcia, J., Castillo, A., Ramírez, M., Rendón, G. y Larque, M. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para selección de medias. Rev. Agrociencia Vol 35, N 1: 79-86.

Gómez, M. (2002), “Evaluación del proceso coagulación-floculación en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa manufacturera de jabones, detergentes, dentífricos y desinfectantes”. Universidad de san Carlos de Guatemala facultad de ingeniería. Guatemala.

Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2012). Análisis y Diseño de Experimentos, 3ª edición, McGraw-Hill Interamericana Editores, México.

Hernández, A. (2005) Depuración de aguas residuales. 6ta Edición, Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, España.

Jiménez, J., Vargas, M. y Quirós, N. (2012). Evaluación de la tuna (Opuntia cochenillifera) para la remoción del color en agua potable. Centro de Investigación en Protección Ambiental, Escuela de Química, Tecnológico de Costa Rica.

Lahura, E. (2003). El Coeficiente de Correlación y Correlaciones Espúreas. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Martínez, J. y González, L. (2012). Evaluación del Poder Coagulante de la Tuna (Opuntia Ficus Indica) Para la remoción de Turbidez y Color en Aguas Crudas, Universidad de Cartagena, Colombia.

Moreno, P. y Rodríguez, M. (2008). Análisis de los Procedimientos Estadísticos Aplicados al Control de Calidad. Trabajo de Grado para optar al título en Lic. en Administración y Contaduría Pública, Escuela de Administración Departamento de Contaduría,. Universidad de Oriente, Venezuela.

Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. y Sanz, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, Elecé Industria Gráfica, España.

Ramos, J. (2006). Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, Universidad de San Carlos; Guatemala.

Romero, J. (2006). Calidad del Agua, 2da edición, Editorial Alfaomega, Colombia.

Tarifa, E. (2000). Optimización y Simulación de procesos – Métodos Numéricos. Universidad de Jujuy Argentina

Tierra, P. (2000). Guía de técnicas seleccionadas, Espectrofotometría, Potenciómetro, Fotometría de llama, Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Torres, P., Rodríguez, J, Uribe, I. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio: Influencia del Medio de Soporte. Universidad del Valle. Colombia.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

Marsilli, A. (2005). Tratamiento de aguas residuales.
<http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>. Accesado 24/07/14

ANEXOS

ANEXO 01: GLOSARIO

Población: Conjunto de todos los elementos que interesan en un estudio determinado.

Muestra: Un subconjunto de la población, con el objetivo de obtener información acerca de toda la población. La selección de la muestra se hace por un procedimiento que asegure en alto grado que sea representativa de la población

Diseño completamente aleatorizado: Diseño experimental en el que los tratamientos se asignan en forma aleatoria a las unidades experimentales.

Replicaciones: Número de veces que en un experimento se repite una condición experimental.

Interacción: Efecto que se produce cuando los niveles (valores) de un factor interactúan con los niveles (valores) del otro factor e influyen en la variable de respuesta.

Variable dependiente: La variable que se predice o explicada. Se denota y.

Variable independiente: Variable que predice o explica. Se denota x.

Floc: Es un conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación. El Floc está constituido en primer lugar por los sólidos que se separan del agua, así como también por los sólidos que aporta el coagulante.

Transmitancia: Es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra y la cantidad de luz que incidió sobre ella el cual se representa normalmente en tanto por ciento.

ANEXO 02: RESULTADOS DE LA MEDIDA DE LA TRANSMITANCIA

Almidón (g)	0.75			1.00			1.25		
Mucílago (ml)	30	45	60	30	45	60	30	45	60
Replica	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	89.5	93.3	96.2	91.7	98.1	92.6	93.0	98.6	93.3
2	88.4	90.0	95.8	94.7	90.4	87.4	88.5	88.7	90.1
3	88.5	91.8	89.3	91.7	88.4	89.6	89.1	93.5	85.8
4	92.9	89.6	91.4	91.8	89.2	92.2	89.7	89.7	83.0
5	83.3	80.3	91.7	94.4	88.5	92.3	98.6	98.6	91.8
6	87.7	96.7	86.8	92.5	86.7	90.8	90.8	90.8	92.0
7	93.3	92.3	95.0	94.8	92.3	92.3	89.8	94.3	89.0
8	92.7	91.6	94.4	93.1	92.7	92.5	88.0	90.9	92.7
9	93.5	88.6	93.9	93.2	88.4	88.6	86.9	97.4	89.0
10	99.6	99.5	99.7	99.6	99.6	99.5	99.6	99.6	99.5
11	99.6	99.6	99.6	99.6	99.7	99.6	99.6	99.5	99.6
12	99.6	99.5	99.5	99.6	99.6	99.7	99.6	99.5	99.5
Media	92.38	92.73	94.44	94.73	92.80	93.09	92.77	95.09	92.11
Des. est.	5.24	5.61	4.12	3.14	5.06	4.26	5.09	4.24	5.34

ANEXO 03: RESULTADOS DE LA MEDIDA DEL PORCENTAJE DE FLOC

Almidón (g)	0.75			1.00			1.25		
Mucílago (ml)	30	45	60	30	45	60	30	45	60
Replica	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	8.4	8.6	8.0	9.0	8.0	7.8	9.6	8.6	9.6
2	9.6	8.8	7.8	9.0	8.8	9.0	9.5	9.6	9.8
3	9.0	8.8	8.2	9.8	8.7	8.6	9.6	8.9	9.7
4	9.6	8.8	7.8	9.0	8.8	9.0	9.5	9.6	9.8
5	9.0	8.8	8.2	9.8	8.7	8.6	9.6	8.9	9.7
6	9.6	8.8	7.8	9.0	8.8	9.0	9.5	9.6	9.8
Media	9.20	8.77	7.97	9.27	8.63	8.67	9.55	9.20	9.73
Des. est.	0.49	0.08	0.20	0.41	0.31	0.47	0.05	0.45	0.08

ANEXO 04: RESULTADOS DE MODELACIÓN PARA LA TRANSMITANCIA

A. MODELO LINEAL

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.062
Coeficiente de determinación R^2	0.004
R^2 ajustado	-0.328
Error típico	1.268
Observaciones	9.000

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2.000	0.037	0.018	0.011	0.989
Residuos	6.000	9.645	1.607		
Total	8.000	9.682			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	93.194	2.622	35.539	0.000	86.777
A	0.272	2.070	0.131	0.900	-4.794
M	-0.003	0.035	-0.075	0.943	-0.087

ANÁLISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	93.320	-0.937	-0.853
2	93.281	-0.548	-0.499
3	93.242	1.200	1.092
4	93.388	1.337	1.218
5	93.349	-0.549	-0.500
6	93.310	-0.219	-0.199
7	93.456	-0.689	-0.628
8	93.417	1.675	1.525
9	93.378	-1.270	-1.157

B. MODELO CON INTERACCIÓN

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.441
Coeficiente de determinación R^2	0.194
R^2 ajustado	-0.289
Error típico	1.249
Observaciones	9.000

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3.000	1.882	0.627	0.402	0.758
Residuos	5.000	7.800	1.560		
Total	8.000	9.682			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	85.044	7.927	10.729	0.000	64.667
A	8.422	7.766	1.084	0.328	-11.542
M	0.179	0.170	1.050	0.342	-0.258
AM	-0.181	0.167	-1.088	0.326	-0.609

ANÁLISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	92.641	-0.257	-0.261
2	93.281	-0.548	-0.555
3	93.921	0.520	0.527
4	93.388	1.337	1.354
5	93.349	-0.549	-0.556
6	93.310	-0.219	-0.221
7	94.135	-1.369	-1.386
8	93.417	1.675	1.696
9	92.699	-0.591	-0.598

C. MODELO CUADRATICO

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.194
Coeficiente de determinación R^2	0.038
R^2 ajustado	-0.924
Error típico	1.526
Observaciones	9.000

ANALISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	4.000	0.366	0.091	0.039	0.996
Residuos	4.000	9.316	2.329		
Total	8.000	9.682			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	86.420	19.095	4.526	0.011	33.405
A	9.383	34.621	0.271	0.800	-86.741
M	0.113	0.434	0.261	0.807	-1.091
AA	-4.556	17.266	-0.264	0.805	-52.493
MM	-0.001	0.005	-0.268	0.802	-0.015

ANALISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	92.641	-0.257	-0.261
2	93.281	-0.548	-0.555
3	93.921	0.520	0.527
4	93.388	1.337	1.354
5	93.349	-0.549	-0.556
6	93.310	-0.219	-0.221
7	94.135	-1.369	-1.386
8	93.417	1.675	1.696
9	92.699	-0.591	-0.598

D. MODELO CUADRATICO CON INTERACCION

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.478
Coeficiente de determinación R ²	0.228
R ² ajustado	-1.058
Error típico	1.578
Observaciones	9.000

ANALISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	5.000	2.211	0.442	0.178	0.954
Residuos	3.000	7.471	2.490		
Total	8.000	9.682			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	78.270	21.898	3.574	0.037	8.582
A	17.533	37.031	0.473	0.668	-100.316
M	0.294	0.495	0.594	0.594	-1.282
AA	-4.556	17.854	-0.255	0.815	-61.374
MM	-0.001	0.005	-0.259	0.812	-0.017
AM	-0.181	0.210	-0.861	0.453	-0.851

ANALISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	92.450	-0.066	-0.069
2	93.379	-0.645	-0.668
3	93.730	0.712	0.736
4	93.481	1.244	1.287
5	93.731	-0.931	-0.964
6	93.404	-0.312	-0.323
7	93.944	-1.177	-1.218
8	93.515	1.577	1.632
9	92.508	-0.400	-0.413

ANEXO 05: RESULTADOS DE MODELACIÓN PARA EL PORCENTAJE DE FLOC

A. MODELO LINEAL

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.807
Coeficiente de determinación R^2	0.652
R^2 ajustado	0.536
Error típico	0.370
Observaciones	9.000

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2.000	1.538	0.769	5.614	0.042
Residuos	6.000	0.822	0.137		
Total	8.000	2.359			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	8.123	0.765	10.613	0.000	6.250
A	1.700	0.604	2.813	0.031	0.221
M	-0.018	0.010	-1.820	0.119	-0.043

ANÁLISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	8.848	0.352	1.098
2	8.573	0.194	0.604
3	8.298	-0.331	-1.034
4	9.273	-0.006	-0.020
5	8.998	-0.365	-1.138
6	8.723	-0.056	-0.176
7	9.698	-0.148	-0.462
8	9.423	-0.223	-0.696
9	9.148	0.585	1.826

B. MODELO CON INTERACCIÓN

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.930
Coefficiente de determinación R ²	0.864
R ² ajustado	0.783
Error típico	0.253
Observaciones	9.000

ANALISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3.000	2.039	0.680	10.624	0.013
Residuos	5.000	0.320	0.064		
Total	8.000	2.359			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	12.373	1.605	7.708	0.001	8.247
A	-2.550	1.573	-1.621	0.166	-6.593
M	-0.113	0.034	-3.276	0.022	-0.201
AM	0.094	0.034	2.800	0.038	0.008

ANALISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	9.202	-0.002	-0.012
2	8.573	0.194	0.968
3	7.944	0.023	0.113
4	9.273	-0.006	-0.032
5	8.998	-0.365	-1.824
6	8.723	-0.056	-0.282
7	9.344	0.206	1.030
8	9.423	-0.223	-1.116
9	9.502	0.231	1.155

C. MODELO CUADRATICO

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.851
Coeficiente de determinación R^2	0.723
R^2 ajustado	0.447
Error típico	0.404
Observaciones	9.000

ANALISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	4.000	1.707	0.427	2.616	0.187
Residuos	4.000	0.652	0.163		
Total	8.000	2.359			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	13.046	5.053	2.582	0.061	-0.983
A	-5.144	9.162	-0.562	0.604	-30.581
M	-0.097	0.115	-0.847	0.445	-0.416
AA	3.422	4.569	0.749	0.495	-9.263
MM	0.001	0.001	0.691	0.528	-0.003

ANALISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	8.985	0.215	0.752
2	8.513	0.254	0.888
3	8.435	-0.469	-1.641
4	9.196	0.070	0.246
5	8.724	-0.091	-0.318
6	8.646	0.020	0.071
7	9.835	-0.285	-0.999
8	9.363	-0.163	-0.571
9	9.285	0.448	1.569

D. MODELO CUADRATICO CON INTERACCION

ESTADÍSTICAS REGRESIÓN

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.968
Coeficiente de determinación R ²	0.936
R ² ajustado	0.830
Error típico	0.224
Observaciones	9.000

ANALISIS DE LA VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	5.000	2.209	0.442	8.798	0.052
Residuos	3.000	0.151	0.050		
Total	8.000	2.359			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	17.296	3.109	5.563	0.011	7.402
A	-9.394	5.258	-1.787	0.172	-26.127
M	-0.192	0.070	-2.725	0.072	-0.415
AA	3.422	2.535	1.350	0.270	-4.645
MM	0.001	0.001	1.245	0.302	-0.001
AM	0.094	0.030	3.161	0.051	-0.001

ANALISIS DE LOS RESIDUALES

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico T</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	9.339	-0.139	-1.016
2	8.513	0.254	1.849
3	8.081	-0.114	-0.833
4	9.196	0.070	0.513
5	8.724	-0.091	-0.661
6	8.646	0.020	0.148
7	9.481	0.069	0.503
8	9.363	-0.163	-1.188
9	9.639	0.094	0.685

ANEXO 06: DATOS DE LA OPTIMIZACIÓN A TRAVÉS DE SOLVER

Microsoft Excel 14.0 Informe de respuestas

Resultado: Solver encontró una solución. Se cumplen todas las restricciones y condiciones óptimas.

Motor de Solver

Opciones de Solver

Celda objetivo (Máx.)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$4	Optimo Transmitancia	93.71	93.70

Celdas de variables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$F\$4	Optimo Almidón (g)	1.00	0.88	Continuar
\$G\$4	Optimo Mucílago (ml)	40.00	52.40	Continuar

Restricciones

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$E\$4	Optimo % Floc	8.40	\$E\$4<=8.4	Vinculante	0.00
\$F\$4	Optimo Almidón (g)	0.88	\$F\$4<=\$F\$5	No vinculante	0.37
\$F\$4	Optimo Almidón (g)	0.88	\$F\$4>=\$F\$6	No vinculante	0.13
\$G\$4	Optimo Mucílago (ml)	52.40	\$G\$4<=\$G\$5	No vinculante	7.60
\$G\$4	Optimo Mucílago (ml)	52.40	\$G\$4>=\$G\$6	No vinculante	22.40

Microsoft Excel 14.0 Informe de confidencialidad

Celdas de variables

Celda	Nombre	Final Valor	Reducido Degradado
\$F\$4	Optimo Almidón (g)	0.88	0
\$G\$4	Optimo Mucílago (ml)	52.40	0

Restricciones

Celda	Nombre	Final Valor	Lagrange Multiplicador
\$E\$4	Optimo % Floc	8.40	0.0075

Microsoft Excel 14.0 Informe de límites

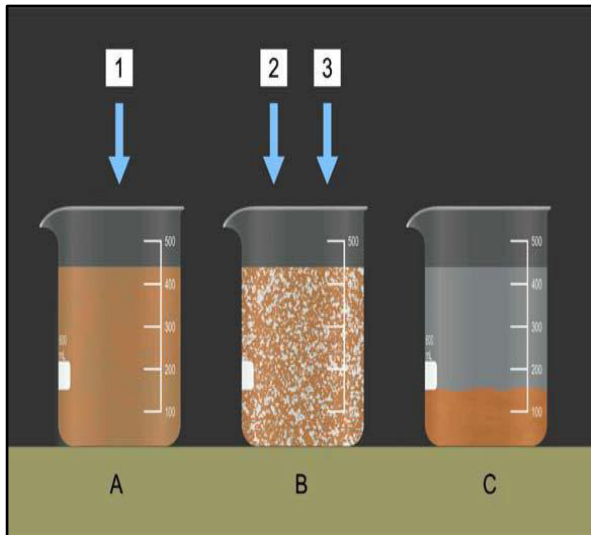
Celda	Objetivo Nombre	Valor
\$D\$4	Optimo Transmitancia	93.70

Celda	Variable Nombre	Valor	Inferior Límite	Objetivo Resultado	Superior Límite	Objetivo Resultado
\$F\$4	Optimo Almidón (g)	0.88	0.75	93.62	0.88	93.70
\$G\$4	Optimo Mucílago (ml)	52.40	52.40	93.70	60.00	93.63

ANEXO 07: FILTRACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE CAMAL MUNICIPAL

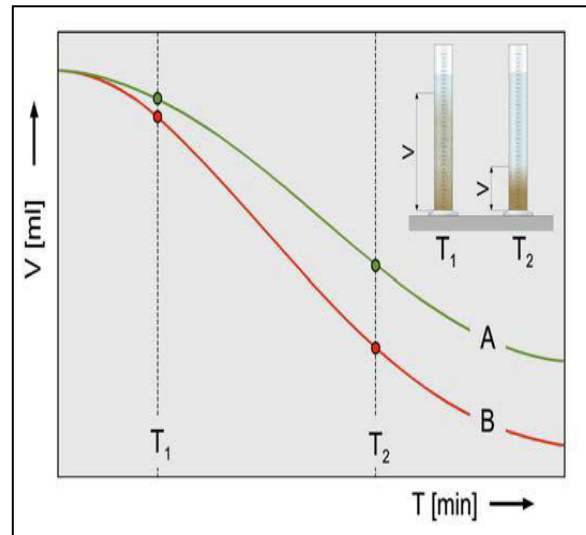


ANEXO 08: CURVAS DE FLOCULACIÓN



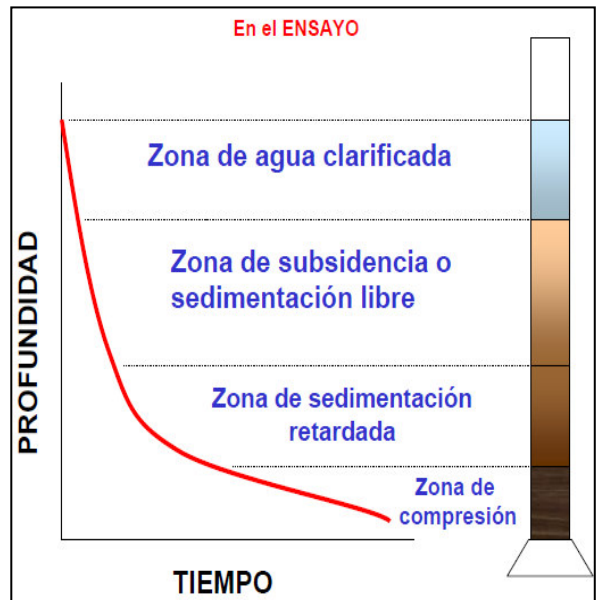
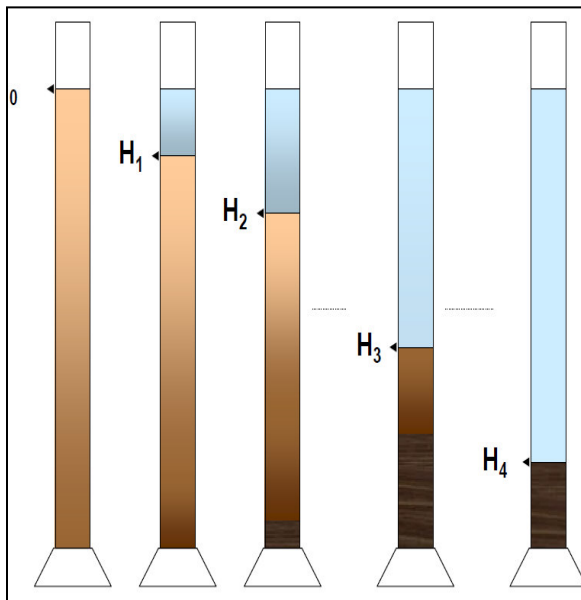
Principio básico de la precipitación y la floculación: A precipitación, B floculación, C sedimentación

1 precipitante, 2 coagulante, 3 floculante



Curvas de sedimentación: Influencia de los floculantes en la sedimentación

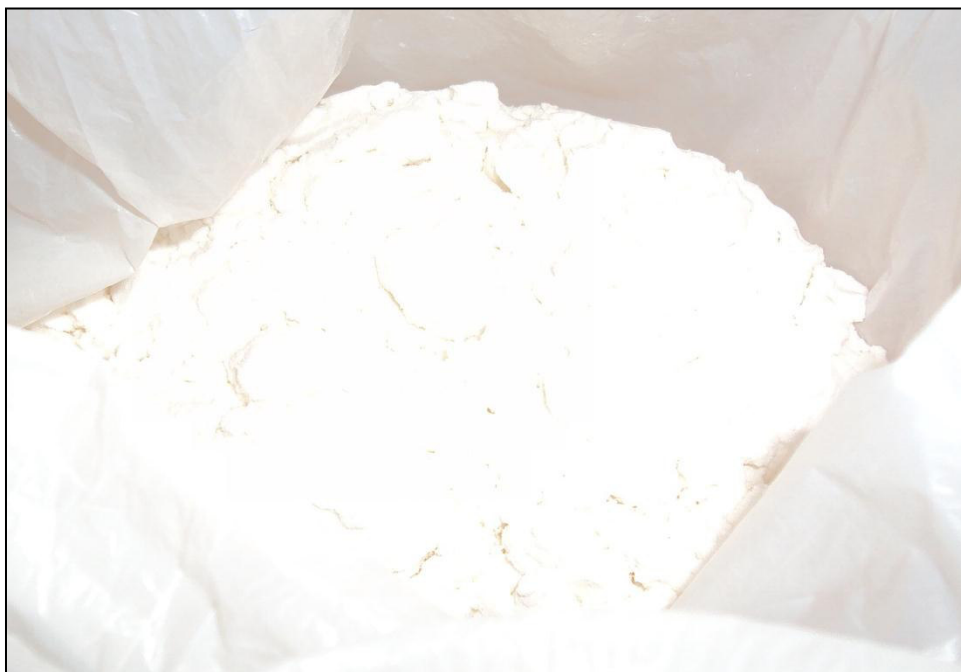
A sin floculante, B con floculante, V volumen de lodo, T tiempo



ANEXO 09: VARIABLES INDEPENDIENTES O VARIABLES DE ENTRADA

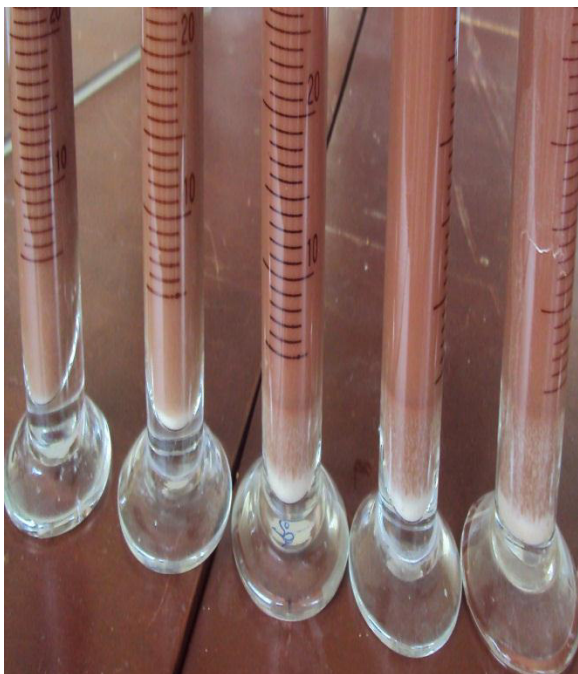


Mucílago de Penca de Tuna



Almidón de papa

ANEXO 10: FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE CAMAL MUNICIPAL DE ANDAHUAYLAS



ANEXO 11: EQUIPO DE MEDICIÓN

